©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Eine geologische Analyse von Feinstrukturen im Ruinenmergel

Von Heinrich Häusler (Wien und Linz)

(Mit 2 Tabellen, 32 Abbildungen)

(Vorgelegt am 6. November 1964)

Vorwort

Die vorliegende Bearbeitung des Ruinenmergels erfolgte 1960—1962 und wurde durch das Entgegenkommen von Herrn Prof. Dr. A. Kieslinger, welcher Proben des Institutes für Geologie der Technischen Hochschule Wien in dankenswerter Weise für die vorliegende Bearbeitung zur Verfügung gestellt hat, gefördert, wie dies in gleicher Weise auch durch Herrn Direktor Prof. Dr. H. Zapfe hinsichtlich des Ruinenmergels von Elixhausen aus der Sammlung der geologisch-paläontologischen Abteilung des Naturhistorischen Museums in Wien erfolgte. Herr cand. geol. W. Eppensteiner unterstützte mich bei der Anfertigung photographischer Aufnahmen. Die Beistellung der finanziellen Mittel, welche für diese Studie nötig waren, erfolgte durch das Technische Büro für angewandte Geologie in Linz.

Die vorliegende geologische Analyse des Ruinenmergels ist als Funktionsanalyse des Gesteinszustandes in bezug auf das raumzeitliche geologische Geschehen aufzufassen und beruht auf Beobachtungen von Gestalt- und Farbeigenschaften. Der Wandel des Gesteinszustandes, dessen Phasen sich in den Schnittebenen des Ruinenmergels abgebildet haben, hat erkennen lassen, daß die Gestaltveränderungen der Mergel auf die Veränderungen der Gefügespannungen zurückzuführen sind sowie auf die stofflichen Veränderungen im Verlaufe des paläogeographischen Geschehens.

1. Einleitung

Am Institut für Geologie der Technischen Hochschule in Wien wird eine besonders schöne, angeschliffene Platte von 38 × 24 cm, dem Querschnitt durch den Kluftkörper eines Ruinenmergels von Lengfeld bei Klosterneuburg, N.Ö. (Abb. 2), aufbewahrt. Das Vorkommen ist heute nicht mehr auffindbar.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

In geologischer Hinsicht erinnert der Ruinenmergel in modellartiger Weise an die Struktur von Grabenbrüchen und Horsten. F. TOULA (1900, 1906, 1918) hat den Anschliff eines Ruinenmergels von Lengfeld in seinem Lehrbuch der Geologie erstmals abgebildet (F. TOULA 1900, p. 165, Fig. 175). In allen weiteren Auflagen seines Lehrbuches hat er diese Abbildung übernommen und beschrieb den dichten mergeligen Kalk als ein Gestein, das von unzähligen feinen Bruch- und Verschiebungslinien durchzogen sei. Er sah darin die Bildung von Staffelbrüchen, Graben- und Horstbildungen im Bereich des Handstückes. Die Farbstreifen wurden hierbei als die Folge von Umfärbungen durch Eisenhydroxyd gedeutet, welche von außen gegen innen erfolgten. Dieselbe Abbildung wurde dann in weiteren Bearbeitungen 1915 verwendet (HOCHSTÄTTER-BISCHING, 1915, p. 188, Fig. 234).

F. X. SCHAFFER hat 1922 (siehe F. X. SCHAFFER 1922, p. 204, Fig. 235) einen Ruinenmarmor (17,5 cm zu 15,0 cm) von Elixhausen, Salzburg, erwähnt (Abb. 4). Nach seiner Auffassung erfolgten die Verfärbungen des Mergels, nachdem er von feinen,

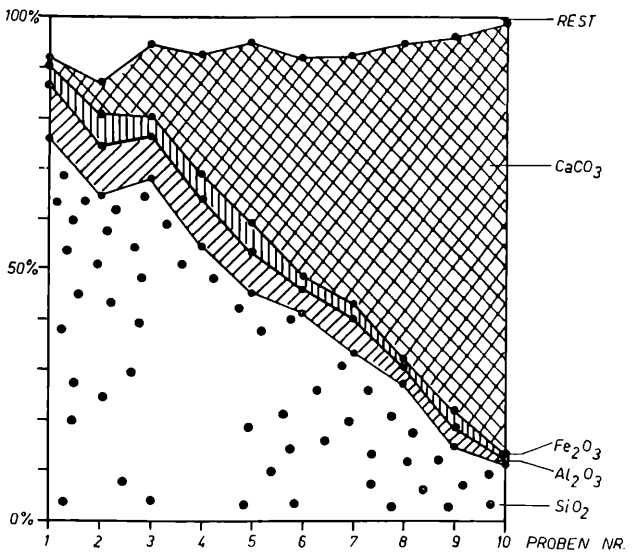


Abb. 1. Diagramm von Mergelanalysen aus Proben des Flyschsteinbruches Gmunden der Portlandzementfabrik Hatschek. Der hohe Kieselsäureanteil, der nicht zur Gänze an die Tonminerale gebunden ist, läßt erwarten, daß ein Teil davon neben dem Kalziumbikarbonat in der Porenflüssigkeit gelöst enthalten ist und so das Milieu von Diffusionsvorgängen bei den Kolloidreaktionen mitbestimmt.

im frischen Zustande kaum sichtbaren Sprüngen durchzogen worden war. Die Verfärbung soll in den einzelnen Bruchstücken voneinander unabhängig vor sich gegangen sein, so daß entweder konzentrische oder nach der feinen Schichtung verlaufende, oft überaus zarte Zeichnungen entstehen konnten.

Den in Abb. 2 gezeigten Anschnitt des Ruinenmergels von Lengfeld hat J. STINY 1929 abgebildet (J. STINY 1929, p. 306, Abb. 270). Er war der Meinung, daß der zunächst zerstückelte Mergel durch eingewanderte Eisen- und Manganlösungen gefärbt und dann wieder verkittet worden sei.

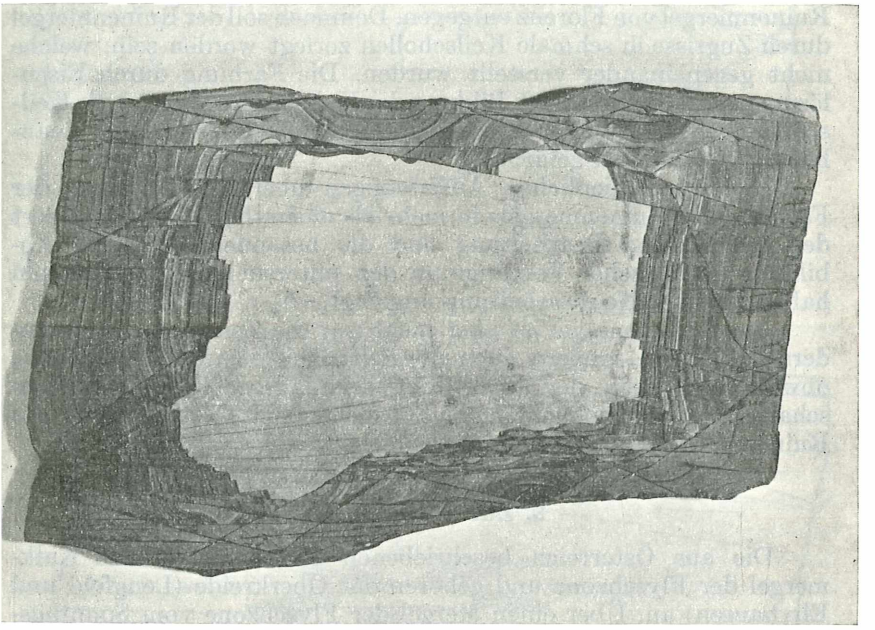


Abb. 2. Ruinenmarmor aus den Kahlenbergschichten (Oberkreide) von Lengfeld bei Klosterneuburg. Die Platte ist parallel der Schichtung aus einem Kluftkörper herausgeschnitten. Die Bildung dieses Kluftkörpers entspricht der tektonischen Phase T_2 (siehe Tabelle 2). Das interne Kluftsystem läßt zwei tektonische Phasen der Beanspruchung, nämlich T_3 (Diagonalklüfte) und T_4 (Keilschollen) erkennen (siehe auch Abb. 3). Die charakteristische Zeichnung des Mergels ist auf die Fällungsrhythmen der Lösungsphase L_4 zurückzuführen (siehe Tabelle 2). Die Lösungsphase L_5 ist nur an wenigen Stellen entlang der Kalzitklüfte zu beobachten. Die Lösungsphase L_7 ist an dendritenförmigen Zeichnungen zu erkennen, die in den Rissen der tektonischen Phase T_6 eingedrungen sind. Die Platte befindet sich in der Sammlung des Geologischen Institutes der Technischen Hochschule in Wien. Maßstab der Abbildung ca. 1:4. (Aufnahme: BORS & MÜLLER, Wien.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

A. KIESLINGER (1951) führt die Bildung dieser Zeichnung des Ruinenmarmors ebenfalls auf das Eindringen von Eisenlösungen in die Klüfte des Mergels zurück. Später deutete er diese Verfärbung (1963) als Wirkung von sauerstoffreichem Wasser, und zwar durch dessen Reaktion mit den Eisenlösungen der Mergel. Die Zeichnung soll hauptsächlich durch die Gefügeeigenschaften der Mergel und nur z. T. durch Überlagerung von Diffusionsrhythmen bedingt sein.

B. SHAUB (1953) faßte den Ruinenmarmor als eine Art von Stylolithenbildung auf (zitiert in F. Morawietz). Dieser Auffassung hält F. H. MORAWIETZ (1958) seine Untersuchungsergebnisse am Ruinenmergel von Florenz entgegen. Demnach soll der Ruinenmergel durch Zugrisse in schmale Keilschollen zerlegt worden sein, welche nicht gegeneinander verstellt wurden. Die Färbung durch Eisenlösungen erfolgte erst nach Bildung der Kalzitadern, welche die Keilschollen verkittet haben. Diese wurden demnach weitgehend unabhängig voneinander gefärbt.

Die unterschiedlichen Auffassungen über die Vorgänge der Färbung des Ruinenmergels in mehr als einem halben Jahrhundert der geologischen Bearbeitung und die besonders deutliche Abbildung geologischer Vorgänge an den untersuchten Fundstücken haben zu einer Neubearbeitung angeregt.

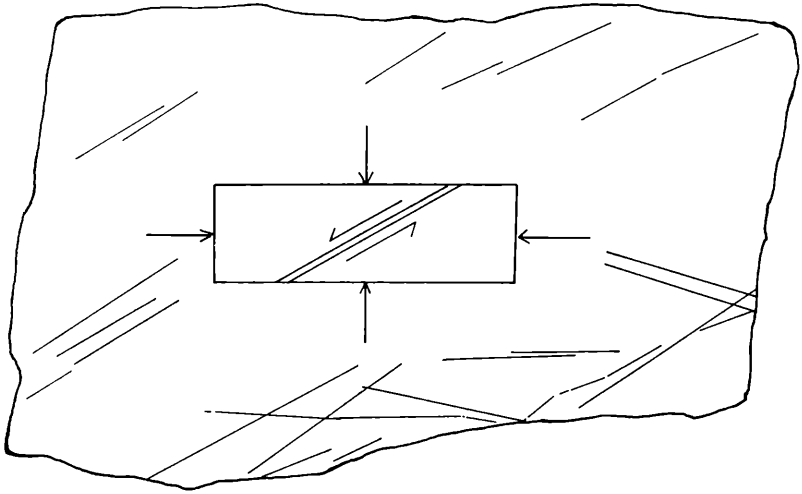
Am Ruinenmergel ist aber nicht nur die Zeichnung so besonders auffallend, sondern auch die Seltenheit seines Vorkommens, obwohl gerade in der Flyschzone sehr ausgedehnte Mergeleinschaltungen zu beobachten sind, welche dem Gesteinstypus des Ruinenmergels vollkommen entsprechen.

2. Zur Lithogenese

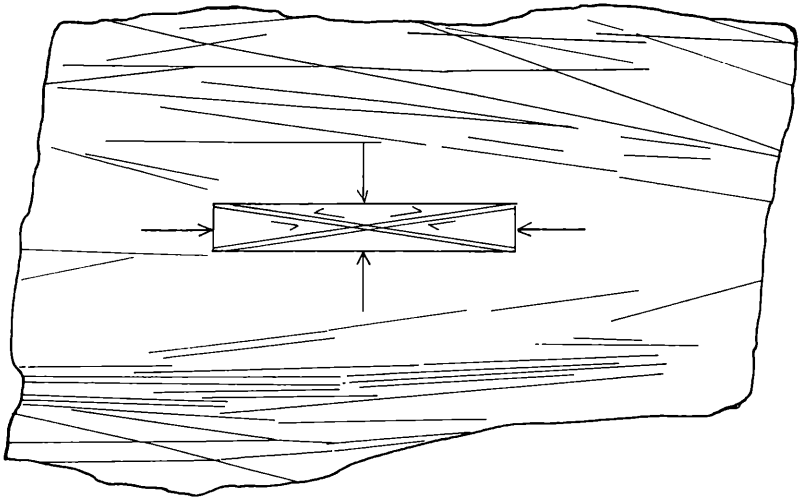
Die aus Österreich beschriebenen Ruinenmergel sind Kalkmergel der Flyschzone und gehören der Oberkreide (Lengfeld und Elixhausen) an. Über einen Mergel der Flyschzone vom Sonntagsberg bei Waidhofen an der Ybbs liegt eine ältere chemische Untersuchung vor (C. JOHN und C. F. EICHLEITER 1910), nach der die

---

Abb. 3. Schematische Umrißzeichnung zur Abb. 2 mit Darstellung der Zergleitungen des Kluftkörpers. In Abb. 3a sind die Diagonalklüfte angedeutet, welche der tektonischen Phase T_3 entsprechen. Das Beanspruchungsmodell wurde in die Mitte der Zeichnung gerückt. Dieser Gleitung entsprechend zeigt auch die Umrißlinie der Platte eine Verformung der Klufträndер des durchschnittenen Kluftkörpers. In Abb. 3b wurde das nächstfolgende Kluftsystem der tektonischen Phase T_4 und deren Beanspruchungsschema dargestellt.



a



b

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

in Säure unlöslichen Anteile von drei Mergelproben (aus dem Stollenabbau) mit 17,7—24,9 % ermittelt worden sind. Die Tabelle 1 zeigt die wechselnde Zusammensetzung von Mergelproben der Flyschzone bei Gmunden (nach freundlicher Mitteilung der Portlandzementfabrik Hans HATSCHEK in Gmunden):

Tabelle 1. Mergelproben vom Steinbruch Gmunden

Glühverl.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaCO_3$
4,7	75,7	11,2	4,4	1,4	—	0,5
8,3	64,2	10,3	6,3	4,0	1,5	6,5
7,8	68,2	8,7	3,8	7,2	1,0	13,8
14,0	54,0	9,1	4,7	11,1	1,4	23,3
18,5	45,4	7,4	5,2	19,9	—	36,0
22,8	41,6	4,4	2,6	24,9	—	43,0
26,1	34,0	6,8	2,9	27,4	0,8	49,3
29,5	27,1	3,3	1,9	34,8	1,0	62,5
35,2	14,7	3,4	3,1	42,3	—	74,5
38,7	10,7	0,8	1,2	47,8	0,2	85,0

Der Vergleich dieser Mergelanalysen, welche eine Auswahl von repräsentativen Analysen des Steinbruches Gmunden darstellen, erfolgte an Hand des Diagrammes der Abb. 1. In dieser Darstellung ist der fallweise hohe Gehalt an Kieselsäure bemerkenswert. Über die chemische Zusammensetzung der die Porenräume des Mergels in den verschiedenen geologischen Abschnitten erfüllenden Lösungen sind zunächst nur indirekte Angaben möglich. Es ist anzunehmen, daß sich diese Porenlösungen mit den löslichen Substanzen des Mergels jeweils in einem bestimmten chemischen Gleichgewicht befunden haben, wobei vor allem solche Stoffe in der Porenlösung anzunehmen sind, die unter den gegebenen Gesteinsbedingungen erwartet werden, wie Karbonate, Kieselsäure und Eisenoxydhydrate. Diese wurden aus den Gesteinen abgeführt, z. T. in den Poren abgelagert. Ein Teil dieser Stoffe blieb der Porenlösung vermutlich in kolloidaler Form erhalten.

Der Kalkschlamm, aus dem sich später die Ruinenmergel von Lengfeld und Elixhausen gebildet haben, bestand demnach zunächst im wesentlichen aus einem Gemisch von Kalcit- und Tonteilchen mit Meerwasser, wobei fallweise auch erhebliche Mengen von Quarzteilchen und Silikaten beteiligt waren. Die spärlichen, in den Kalkmergeln der österreichischen Ruinenmarmore beobachteten Lebensspuren sind als Fraßgänge niederer Tiere aufzufassen, welche mit einer dunkler gefärbten, tonigen Substanz

ausgefüllt worden sind. In der Probe von Elixhausen sind auch Spuren sehr dünner, toniger und schichtparalleler Einschaltungen zu beobachten. Im allgemeinen aber sind die sehr homogen aufgebauten Kalkmergel rein, und tonige Lagen sind nur an den Schichtflächen der Bänke zu erwarten. Dadurch sind deutliche

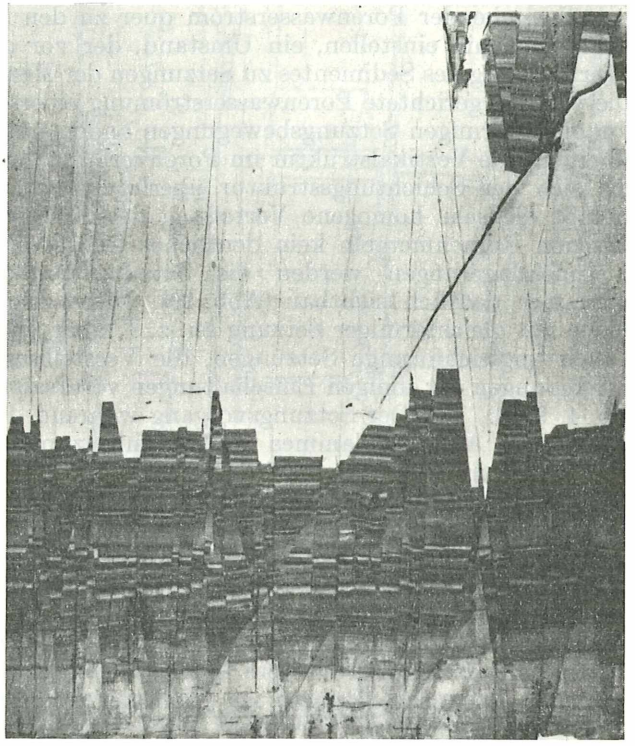


Abb. 4. Ruinenmarmor aus der Flyschzone von Elixhausen (Salzburg) vom Typus des Ruinenmarmors aus der Oberkreide (Kahlenbergschichten) von Klosterneuburg. Die Platte ist senkrecht zur Schichtung geschnitten. Die Schichtung (parallel zum unteren Bildrand) derselben ist an den Gefügespuren, besonders gegen den unteren Bildrand deutlich zu erkennen. Das interne Kluftsystem des Probestückes wird von den tektonischen Phasen T_3 bis T_6 gebildet (siehe auch Tabelle 2). Die Zeichnung bzw. Streifung der Platte wird im wesentlichen von der tektonischen Phase T_4 und der Lösungsphase L_4 bestimmt. Die Lösungsphase L_5 ist nur spärlich zu beobachten, ebenso die Dendriten der Lösungsphase L_7. Deutlich ist dagegen die randliche Ausbleichung (unterer Bildrand) der rhythmischen Eisenabscheidungen zu erkennen (L_6). Die Platte befindet sich in der Sammlung der geologisch-paläontologischen Abteilung des Naturhistorischen Museums in Wien. Maßstab: ca. 1:2 (Photo: cand. geol. W. Eppensteiner.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Anzeichen von Schichtungen in diesen österreichischen Ruinenmergeln nur selten zu beobachten. Im Dünnschliff (Abb. 10) lassen sich fallweise noch Spuren undeutlicher Schichtungen erkennen. Die Proben aus Florenz hingegen weisen eine sehr ausgeprägte Schichtung auf (MORAWIETZ, F., 1958).

Bei der Konsolidierung des ursprünglichen Schlammes mußte sich ein vorübergehender Porenwasserstrom quer zu den Schichtflächen nach oben hin einstellen, ein Umstand, der vor der endgültigen Verfestigung des Sedimentes zu Setzungen der Mergellagen führte. Die vertikal gerichtete Porenwasserströmung einerseits und die z. T. ungleichförmigen Setzungsbewegungen anderseits müssen eine vorübergehende Vertikalstruktur im Porenverband verursacht haben, die sich der Schichtungsstruktur überlagert hat. Im allgemeinen läßt die sehr homogene Verteilung der Körner in den österreichischen Ruinenmergeln kein deutliches Gefüge erkennen, nur bei Toneinlagerungen werden die Setzungsvorgänge des Mergelschlammes deutlich sichtbar (Abb. 10). Diese zeigen zum Teil Bereiche mit gleichförmiger Setzung an, z. T. aber (im Mikrobereich) auch ungleichförmige Setzungen, die Verstellungen und vertikale Scherungen der tonigen Einschaltungen verursacht haben (siehe Abb. 4, 9, 10, 15). Der Setzungsvorgang während der Konsolidierung dieses Mergelschlammes mußte mit zunehmendem Einfluß der Sedimentauflast und Zeitdauer soweit abklingen, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellte. Der Endpunkt der Konsolidierung ist dann durch die Berührung der Mineralteilchen bzw. ihrer oberflächengebundenen Wasserfilme verursacht zu denken. Durch die Kristallisation der Mineralsalze aus den verbleibenden Porenlösungen und die Gel-Bildungen ist die weitere Verfestigung des Schlammes zum Mergel abgeschlossen worden. Es wäre denkbar, daß durch weitere Auflast oder tektonische Spannungen das RIEKEsche Prinzip zur Wirkung gekommen sei und die Form der Porenräume beeinflußt hätte. Hierzu wäre eine Strukturanalyse der Porenräume nötig, welche mittels Permeabilitätsbestimmungen und Färbe- bzw. Füllversuchen später ausgeführt werden soll. Mangels direkter Beobachtungen über die struktur- bzw. richtungsabhängige Permeabilität der Mergel sollen daher zunächst nur indirekte Nachweise an Hand der natürlichen Verfärbungen versucht werden.

Am Ruinenmergel der Abb. 6 ist die Form des Kluftkörpers deutlich zu erkennen, in dessen Kernbereich eine länglich-eiförmige Verfärbung stattgefunden hat. Die dem oberen und unteren Bildrand parallelen Kanten des Anschliffes liegen vermutlich in Richtung der Schichtflächen. Dieser Mergel unterscheidet sich vom Ruinen-

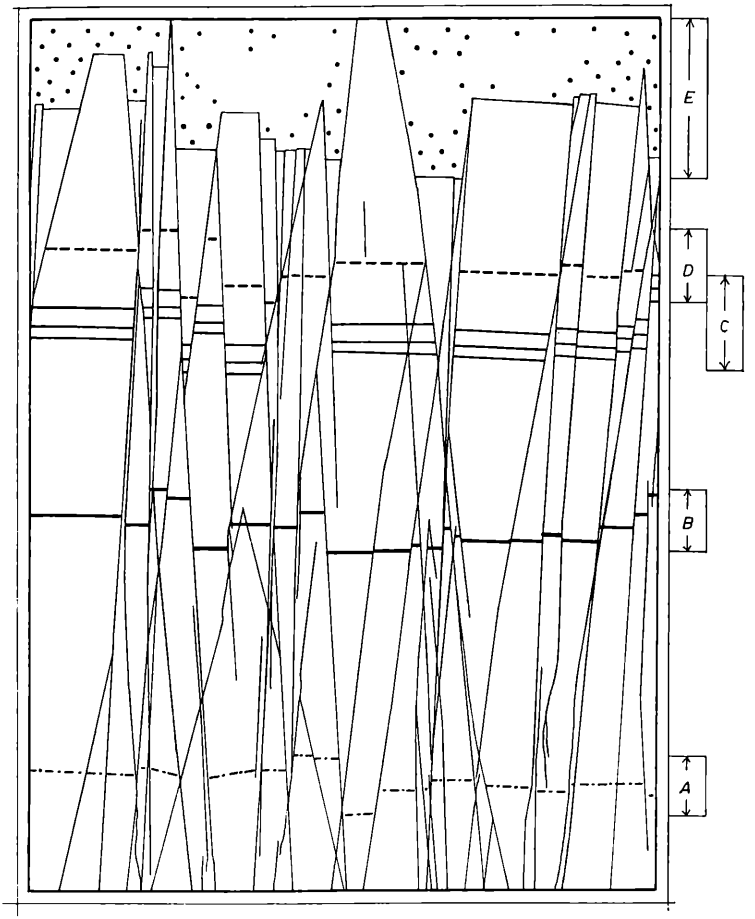


Abb. 5. Schematische Skizze zur Platte des Ruinenmergels von Elixhausen der Abb. 4 mit Darstellung der wichtigsten „Keilschollen" und einer Auswahl von sieben Lösungs- bzw. Abscheidungsfronten der Lösungsphase L_4 (A—E). Die Verstellungsbeträge innerhalb dieser Fronten nehmen von A nach E im wesentlichen zu. Daran ist bereits deutlich zu erkennen, daß es sich nicht um mechanische Verformungen dieser Liniensysteme durch grabenbruchartige Verstellungen handeln kann (siehe F. Toula), sondern um Lösungswanderungen mit Fällungen. Die herausgegriffenen Verstellungen der Abscheidungsfronten gegeneinander sind durch die verschiedenartigen Lösungswanderungen in den Diffusionskörpern bestimmt, welche durch die Kalzitabdichtung (aus der Lösungsphase L_3) der Keilschollen entstanden sind. Die zunehmende Streuung der Verstellungsbeträge von A gegen E ist auf die abnehmende Dichte der Fällungsreaktionen bei abnehmender Konzentration der Lösungen zurückzuführen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

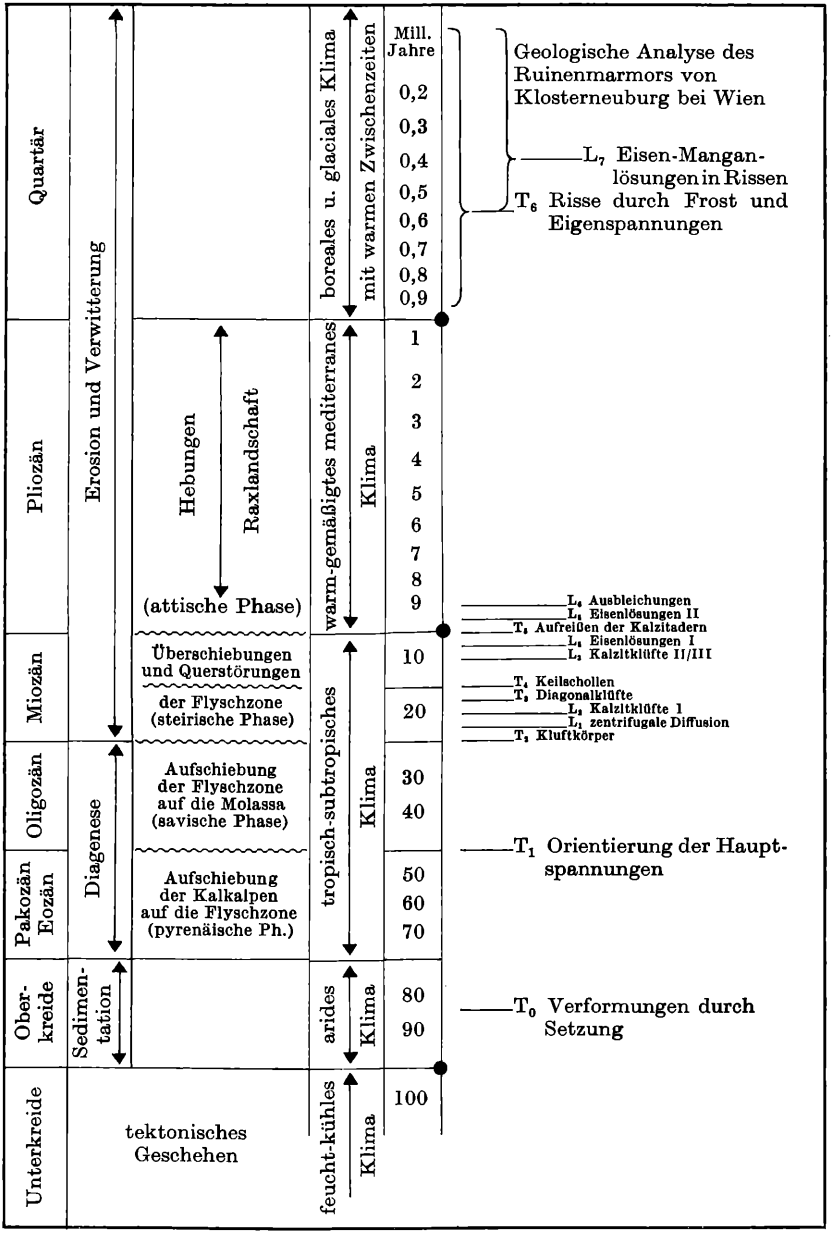


Tabelle 2

Diese Tabelle zeigt die chronologisch geordneten Beziehungen der an Proben des Ruinenmergels beobachteten tektonischen Vorgänge und Lösungswanderungen zu den paläogeographischen Ereignissen des Bildungsraumes. Die Reihe der mechanischen Beanspruchungen des Mergels (tektonische Phasen T_0 bis T_6) beginnt in der Oberkreide mit der Phase T_0. An der Eozän-Oligozän-Grenze ist die Orientierung der Hauptspannungen durch den Nordschub der Alpen als Phase T_1 anzusetzen. Infolge der weiteren tektonischen Beanspruchungen ist an der Oligozän-Miozän-Grenze die Bildung der Kluftkörper in der Phase T_2 anzunehmen (Abb. 2, 25). Die Bildung der Diagonalklüfte in den bereits vorhandenen Kluftkörpern wird der Phase T_3 zugeordnet und ins untere Miozän eingestuft (Abb. 3). Die Zerlegung der Kluftkörper in die Keilschollen wurde der Phase T_4 zugeordnet und in das mittlere Miozän eingestuft (Abb. 2, 3, 30). Einer weiteren Phase T_5 ist das Aufreißen bereits verheilter Klüfte innerhalb der Kluftkörper zuzuordnen, die vermutlich dem Aufleben tektonischer Aktivität an der Miozän-Pliozän-Grenze zuzuschreiben sind (Abb. 20, 31). Weitere mit Manganmineralien gefüllte Risse an den Kluftkörpern wurden unter die Phase T_6 als jüngste Bildungen zusammengefaßt (Abb. 2). Die Lösungswanderungen lassen sieben Lösungsphasen (L_1 bis L_7) unterscheiden, wobei die Phase L_1 nach der Zerklüftung bzw. der tektonischen Phase T_2 in Form einer zentrifugalen Diffusion einsetzte (Abb. 6), worauf sich die Kluftkalzite I. Art (Lösungsphase L_2) gebildet haben. Die von der tektonischen Phase T_3 geschaffenen Klüfte wurden durch die Kluftkalzite II. Art verheilt und jener der tektonischen Phase T_4 durch die Kluftkalzite III. Art der Lösungsphase L_3. Unmittelbar nach Ausheilung der Klüfte in den Kluftkörpern durch die genannten Kalzitabscheidungen sind Eisenlösungen I. Art eindiffundiert — zentripetale Diffusion (Lösungsphase L_4) — und haben die charakteristische Färbung des Ruinenmarmors geschaffen (Abb. 2). Das Eindringen der Eisenlösungen II. Art (Lösungsphase L_5) ist der Miozän-Pliozän-Grenze zuzuordnen und muß nach der tektonischen Phase T_5 erfolgt sein (Abb. 21, 22), ebenso die Bleichungsvorgänge der Lösungsphase L_6 (Abb. 4, 24). Die Manganabscheidungen der Lösungsphase L_7 (Abb. 2) sind dem Quartär zuzuordnen.

---

mergel der Abb. 2 durch einen stärkeren primären Gehalt an Eisenmineralien. In porösen, feinkörnigen Kluftkörpern, welche homogen verteilte Partikel von Eisenmineralien enthalten, bilden sich unter dem Einfluß der Porenlösungen schalenförmig verteilte Umwandlungen dieser Minerale, wie dies z. B. an Verwitterungsschwarten und Schäden an Sandsteinblöcken deutlich zu beobachten ist. Im Kernbereich des Kluftkörpers bleibt das Gestein am längsten unverändert. Gegen die Ränder des Kluftkörpers aber werden die Umwandlungen immer intensiver. Die chemischen Reaktionen sind zunächst auf die Porenräume der feinkörnigen Mergel beschränkt worden und haben in den Porenlösungen des Gesteins im Zuge von Diffusionsvorgängen stattgefunden. Diese führten dem Konzentrationsgefälle entsprechend zu Diffusionsringen. Die Diffusionsringe um den Kernbereich des Kluftkörpers (Abb. 6) müssen hiebei z. T. auf jene älteren Diffusionsbewegungen der Eisenlösungen zurückzuführen sein (Lösungsphase L_1 der Tabelle 2),

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

die vom Zentrum des Kernes nach außen führten. Bei einer richtungslos-homogenen Porenverteilung wäre zunächst ein dem Diffusionspotential des Kernes entsprechend kreisförmiger (später durch die Form des Gesteinskörpers bedingter) Verlauf der Diffusionsringe, zumindest im zentralen Teil des Körpers, zu erwarten

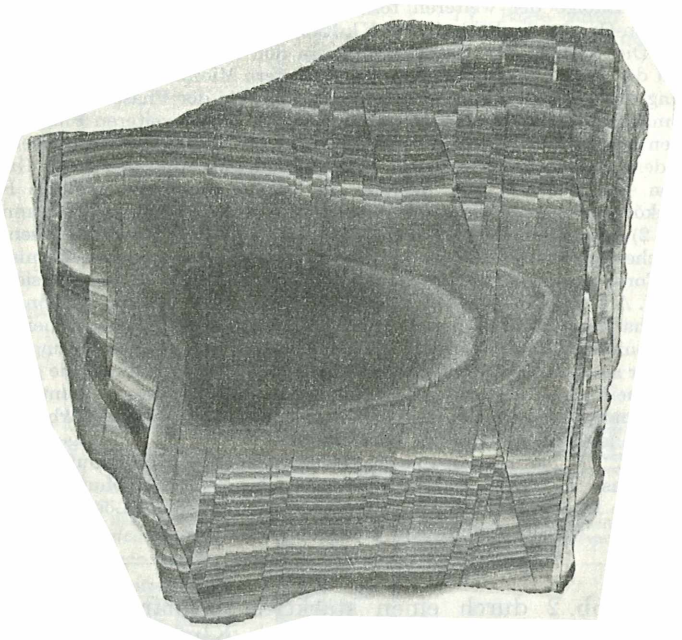


Abb. 6. Ruinenmergel der Flyschzone bei Wien. Die Umrandung ist im wesentlichen durch die Form des Kluftkörpers (T_2) bedingt. Die weiteren tektonischen Phasen T_3 und T_4 sind an den Keilschollen deutlich zu erkennen. Die tektonische Phase T_5 ist durch außerordentlich kleine, in Perlenreihen angeordnete Eisenabscheidungen entlang von Klufträndern der Keilschollen markiert. Die tektonische Phase T_6 ist durch feine Risse gekennzeichnet, in denen sich die Dendriten gebildet haben. Die im Bilde dunkel erscheinende querovale Kernzone mit rötlichbraunen Eisenoxydhydraten läßt eine ältere, zentrifugale Diffusion, die Lösungsphase L_1 erkennen, die von der späteren, zentripetal gerichteten Diffusion (L_4) mit der für den Ruinenmergel kennzeichnenden Streifung überlagert bzw. umgelagert worden ist. Die Verstellung der zentrifugalen Diffusionssäume kann auf die Zergleitung des Kluftkörpers in die Keilscholle zurückgeführt werden. Die Verstellung der randlichen Diffusionssäume entlang der Kluftschnitte hingegen ist auf die unterschiedliche Art der Lösungswanderungen innerhalb der einzelnen „Keilschollen" zurückzuführen. Original der Sammlung Dr. H. HÄUSLER, der Maßstab ca. 1:1,4 (Aufnahme: cand. geol. W. EPPENSTEINER.)

(Abb. 16e). Da diese Ringe im Mergel der Abb. 6 aber eiförmig angeordnet sind, ist auf eine höhere Permeabilität in der längeren Achse (Permeabilitätsanisotropie) zu schließen, was vermutlich auf die Schichtung zurückzuführen ist. Solche Beobachtungen über die Permeabilitätsanisotropie stimmen mit den Ergebnissen von W. ENGELHARDT (1960) überein, wonach die Permeabilität der Sedimente niemals streng isotrop ist, sondern von deren Struktur abhängt. Die Richtungen der Hauptpermeabilitäten entsprechen den Hauptachsen des Permeabilitätsellipsoides (Abb. 7). Fließvorgänge solcher Art finden allerdings nur dann statt, wenn ein äußeres Druckgefälle den gesamten Poreninhalt des Gesteines in Bewegung setzt. Wenn aber, wie am Beispiel der Abb. 6 zu erkennen ist, nur einzelne Bestandteile der Lösungen und Gase des Porenraumes infolge eines Konzentrationsgefälles bzw. dem partialen Druckgefälle entsprechend wandern, dann findet an Stelle des Fließens die erwähnte Diffusion statt. Die Diffusionskoeffi-

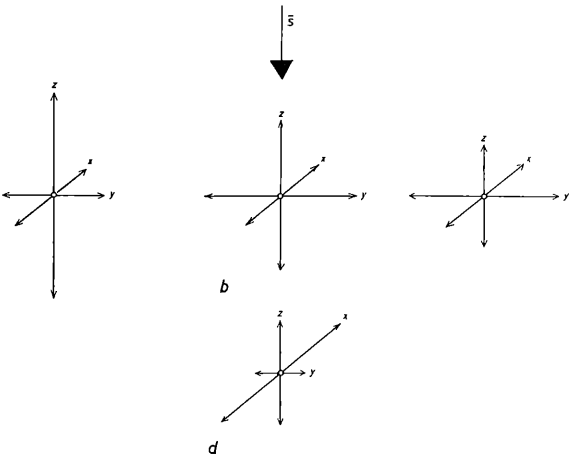


Abb. 7. Schematische Darstellung von Veränderungen der Achsenabschnitte des Permeabilitätsellipsoides während der Bildung des Ruinenmergels. In bezug auf die ursprüngliche Lage der Schichtflächen (xy) zur Zeit der Konsolidierung des Mergelschlammes (Abb. 7a) mußte sich eine vertikale Porenwasserströmung entgegen der Schwerkraft (s) einstellen, so daß die Permeabilität nach z größer sein mußte als in xy. In der Folgezeit (Abb. 7b) fortgeschrittener Konsolidierung erreichten die Permeabilitäten gleiche Größen für xyz um in den Endzustand der Konsolidierung und späteren Diagenese überzugehen, wobei z kleiner als x oder y sein mußte. Infolge der tektonischen Zerlegung des Kluftkörpers in „Keilschollen" (Abb. 7d) und deren Abdichtung mit Kalzit, wurde die Permeabilität nach y gegenüber x wesentlich vermindert (siehe auch Abb. 17).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

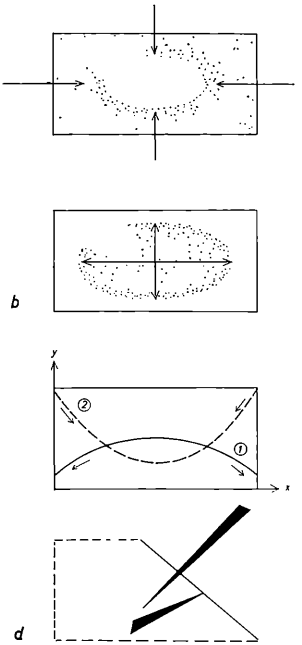


Abb. 8. Schematische Darstellung der Lösungswanderung im Porensystem des Ruinenmergels. Abb. 8a stellt das Eindringen (zentripetale Diffusion) von Kieselsäurelösungen und Eisenoxydhydraten von den Kluftflächen zum Kern des Kluftkörpers dar. Abb. 8b zeigt das Abwandern von Porenlösungen aus dem Kernbereich des Kluftkörpers nach außen (zentrifugale Diffusion). Abb. 8c veranschaulicht hierbei die Abhängigkeit der Lösungskonzentrationen (Ordinate) von der Ortslage entlang eines Schnittes durch den Kluftkörper (x). Die Konzentrationen der Kalziumkarbonate (1) nehmen vom Kernbereich des Kluftkörpers gegen die Kluftflächen zu ab, die Konzentrationen der eisen- und auch der kieselsäurehaltigen Lösungen bzw. deren Kolloide und Gele (2) nehmen umgekehrt von der Kluftfläche gegen den Kern zu ab. An den Schnittpunkten beider Kurven sind die Fällungen der Eisenlösungen in den „Keilschollen" zu erwarten. Abb. 8d veranschaulicht die Stoffbewegung durch die Kluftfläche eines beliebigen randlichen Teilstückes des Kluftkörpers. Die ausdiffundierenden Lösungen werden dabei in den Klufthohlräumen z. T. abgeschieden und z. T. daraus abgeführt (z. B. Kalziumkarbonat). Die eindiffundierenden Lösungen reagieren mit den Stoffen der Porenlösungen unter Lösungs- und Abscheidungserscheinungen.

zienten und die erwähnten Permeabilitäten sind aber vom Formwiderstandsfaktor des Gesteins abhängig (W. ENGELHARDT 1960), so daß deren Übereinstimmung zu erwarten ist.

Eine schichtparallele Verteilung des Porenraumes der Ruinenmergel kann ursprünglich durch die Ablagerung bedingt worden sein (siehe Abb. 10) oder auch durch spätere Druck-Lösungsvorgänge des Kalziumkarbonates bzw. durch beide Vorgänge gemeinsam zustande gekommen sein und sowohl die Diffusionsvorgänge als auch die Permeabilitäten bestimmt haben. So lassen z. B. die punktförmigen Diffusionen der Abb. 21 erkennen, daß die Diffusionsbewegungen parallel zur Schichtungsebene z. T. bevorzugt worden sind, was auf eine höhere Permeabilität der Mergel parallel zur Schichtung hinweist. Die Diffusionsvorgänge sind aber nicht nur von der Form des Porengefüges, sondern auch von den Konzentrationsveränderungen der Porenlösungen abhängig. Je größer die Permeabilität, desto geringer wird z. B. das Konzentrationsgefälle zu erwarten sein, und umso schwächer und weitständiger werden daher die Abscheidungen der Diffusion auftreten. Der umgekehrte Fall kann bei gleicher Permeabilität und ver-

schiedenem Konzentrationsgefälle in der Porenlösung eintreten, was sich z. B. an der charakteristischen rhythmischen Streifung des Ruinenmergels erkennen läßt (siehe Abb. 4 und 5). Dies wird durch die Beobachtungen von F. H. MORAWIETZ (1958) am Ruinenmergel von Florenz bestätigt, der aus rhythmisch wechselnden Korngrößen besteht und sehr gut geschichtet ist. Vom feinkörnigen zum grobkörnigen Bereich dieses Sedimentes verliert sich die charakteristische Zeichnung des Ruinenmergels, weil das Diffusionsgefälle im durchlässigeren Teil des Stückes (aus gröberen Teilchen) geringer war und die Konzentrationsdifferenzen nicht mehr ausgereicht haben, um intensive Fällungen und damit eine ausgeprägte „Ruinenlandschaft" hervorzurufen.

Die Zeichnung des Ruinenmergels hängt auch mit seiner Klüftung zusammen. Die relativ hohe Festigkeit des Kalkmergels und der Gehalt an restlichen Porenlösungen waren für die Übertragung der tektonischen Spannungen im Gesteinsgefüge von besonderer Bedeutung und verursachten ein Netz von parallelen bis spitzwinkelig sich schneidenden Feinklüften. Die Anordnung dieser feinen Klüfte ist ein weiteres wesentliches Kennzeichen des Ruinenmergels und bestimmend für seine Musterung. Das Wasser bewirkt hiebei (nach L. FÖPPL 1958) in den Porenräumen mit geeigneter (d. h. geringer) Permeabilität eine höhere Druckübertragung im Korngefüge quer zur Pressung, als dies bei trockenen Gesteinen zu erwarten ist. Dadurch ist die Klüftung mehr oder weniger parallel der Druckrichtung zu erwarten. Diese Feinklüftung und die davon abhängigen Diffusionsvorgänge bedingten die zackenförmige Zeichnung des Mergels. Die Zeichnung des Ruinenmergels konnte somit nur bei ganz bestimmten lithogenetischen Voraussetzungen entstehen (Abb. 2, 4, 5, 10).

3. Der Gesteinszustand

Der Gesteinszustand wird durch die primären Gesteinseigenschaften, dem Grad der exogenen (z. B. Verwitterung) und dem Maße der endogenen (z. B. tektonischen) Beanspruchungen bestimmt. Der Gesteinszustand des Ruinenmergels wurde dem Wechsel der zeitlich aufeinanderfolgenden exo- und endogenen Einflüsse entsprechend verschiedentlich verändert. Aus dem über große Flächen des Flyschmeeres abgelagerten Mergelschlamm wurden im Verlauf der Lithogenese ausgedehnte Mergelplatten. Infolge tektonischer Beanspruchungen im Zuge der alpinen Faltungsphasen wurden diese Platten bei einem hohen Überlagerungsdruck zerklüftet und in ein System von Kluftkörpern zerlegt. Das unter

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Druck stehende Porenwasser mußte sich gegen die aufgerissenen Klufthohlräume in Bewegung setzen und in den Porenräumen einen Lösungsstrom verursachen. Diese Klüfte konnten sich z. T. mit solchen Lösungen füllen, aus denen sich dann Kalzitkristalle abgeschieden haben, wodurch die Risse z. T. verheilten. Hierbei sind restliche Hohlräume verblieben, was indirekt aus der Primärdiffusion (Abb. 6) und aus den oftmals kalzitfreien Klüften zu erkennen ist. Im Zuge dieser Lösungswanderungen konnten sich auch chemische Diffusionen des Kluftkörpers in den Kern- und Randbezirken ausbilden (Abb. 6). Weitere tektonische Phasen (T_3, T_4) zerlegten die Kluftkörper in die schmalen Keilstücke, welche für den Ruinencharakter der Zeichnung maßgebend sind. Auch die auf diese Weise entstehenden Hohlräume füllten sich z. T. mit den bereits vorhandenen und neuerdings aus den Poren durch den Überdruck und das Diffusionsgefälle abgesonderten Lösungen. Daraus konnte sich das reine Kalziumkarbonat abscheiden und die keilförmigen Mergeltrümmer zu einem Körper verfestigen, der dem ursprünglichen Kluftkörper bis auf geringfügige Verformungen gleicht (siehe Abb. 2 und 3). Verwitterungslösungen dagegen hätten den Kluftkalzit durch Eisenverbindungen verfärben müssen.

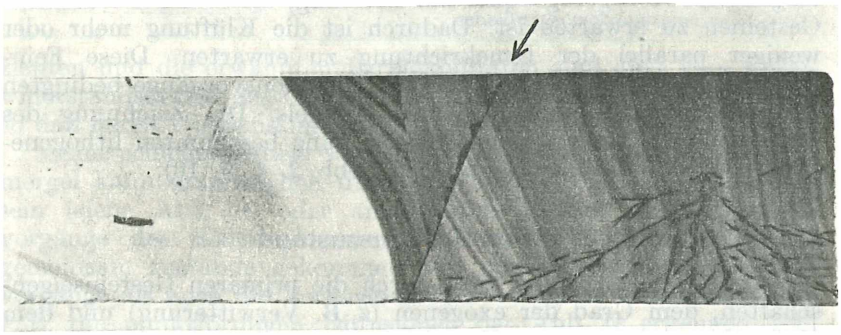


Abb. 9. Anschnitt eines Ruinenmarmors von Lengfeld im Fischachtal, der senkrecht zur Schichtung geschnitten worden ist (Original der Sammlung des Geologischen Institutes der Technischen Hochschule in Wien). Die angeschnittenen Lebensspuren (kleine Chondriten) lassen die Lage der Schichtfläche parallel zum unteren Bildrand erkennen, sowie die Deformationen des Sedimentes durch die Sedimentauflast, was an den Verdrückungen des Chondritensystems im Bilde rechts unten zu sehen ist (Stauchung der steileren Äste und Plättung der zur Schichtung flachliegenden Äste). An der Kluft in Bildmitte sind Diffusionshöfe zu erkennen, welche der Lösungsphase L_5 (siehe Tabelle 2) entsprechen. Maßstab: ca. 1,5:1 (Aufnahme: cand. geol. W. Eppensteiner).

Nach diesen Vorgängen wirkte die Verwitterung im Zuge der fortschreitenden Erosion der Flyschlandschaft tiefer in das Gebirge hinein und die dadurch entstandenen Eisenhydroxydverbindungen zirkulierten in den nicht oder nur unvollkommen verheilten primären Klufthohlräumen, soweit sie nicht tektonisch aufgerissen worden sind. Von diesen aus konnten die Verwitterungslösungen durch die Kluftflächen ins Innere der Kluftkörper eindiffundieren, wobei sich in der Porenflüssigkeit rhythmische Fällungsvorgänge

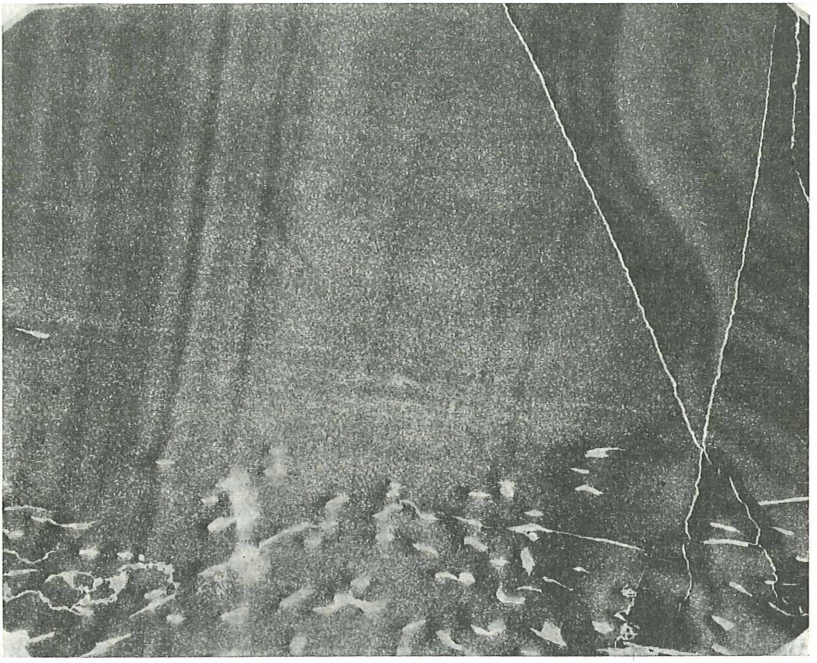


Abb. 10. Dünnschliff (gewöhnliches Licht) aus dem Ruinenmarmor der Abb. 9. Die Lage der Schichtflächen ist an den Verdrückungen der Chondritenquerschnitte und an der Mikrostruktur (Streifung) bzw. der Korngrößenverteilung zu erkennen, welche durch die den Mergel aufbauenden Bestandteile und deren Rhythmik geschaffen wurde. Mehr oder weniger senkrecht auf die Mikroschichtung verläuft die Streifung der Fällungsrhythmen (Lösungsphase L_4) aus Eisenoxydhydrat. Die weißen Kalzitadern, im Bilde rechts, dichten die „Keilschollen" gegeneinander wie Gefäßwände ab, so daß jeder dieser Körper ein selbständiges Diffusionssystem gegenüber den eindringenden Eisenlösungen darstellt (siehe den verschiedenen Verlauf der Fällungsfronten). Entlang der linken Kalzitader haben sich spätere Eisenabscheidungen der Lösungsphase L_5 gebildet. Maßstab: ca. 4,5:1 (Aufnahme: cand. geol. W. Eppensteiner).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

bzw. Koagulationen einstellten, welche die Streifung der Mergel verursacht haben. Diese Diffusionsvorgänge müssen sich erschöpft haben, nachdem etwa 50 % des Kluftkörpers davon betroffen worden waren (siehe Abb. 2 und 6). An manchen Ruinenmergeln ist zu beobachten, daß entlang der feinen, mit Kalzit verheilten Spalten der Keilschollen verschiedentliche nachträgliche Diffusionsreaktionen von Eisenoxydhydrat stattgefunden haben (siehe Abb. 9, 20, 21). Diese erscheinen in Form kleiner, punktförmiger oder streifenförmiger verteilter Einlagerungen im Mergel, die aus sehr dunklen Eisenoxydhydratteilchen bestehen. Diese Einlagerungen zeigen, daß in den Rissen zwischen dem Mergel und dem Kalzit, der die feinen Kluftspalten der Keilschollen ausfüllt, Eisenlösungen zirkulieren konnten, ehe diese Hohlräume verschlossen wurden. Der Reaktionssaum dieser Eisenlösungen ist im allgemeinen sehr klein geblieben, weil die Eisenoxydhydratsole durch das hohe Konzentrationsgefälle zwischen der in der Spalte ankommenden Lösung und der angrenzenden Porenlösungen sehr rasch gefällt bzw. koaguliert worden sind (Abb. 22). Nach dem Verschluß dieser letzten Hohlräume konnte es nur noch zu weiteren Umlagerungen der Eisenlösungen im Mergel kommen, welche ebenfalls für die Zeichnung des Ruinenmarmors maßgebend waren (Abb. 24).

Zuletzt sind dann noch Eisenmanganverbindungen entlang feiner Risse in die Kluftkörper eingedrungen und haben sich in Form von Dendriten abgelagert (Abb. 2). Das nachstehende Schema (Tabelle 2) gibt den zeitlichen Ablauf dieser Veränderungen des Gesteinszustandes wieder.

4. Die Diffusionsvorgänge

Die Diffusionsvorgänge waren zwar, den Permeabilitäten entsprechend, von der Gestalt der Porenräume abhängig, darüber hinaus aber auch vom Konzentrationsgradienten der Porenlösungen. Bei den feinkörnigen Gesteinen könnten dabei infolge ihrer großen inneren Oberfläche auch Adsorptionsbindungen stattgefunden haben.

Die Kluftkörper des Ruinenmergels sind Elemente des Gebirges, welche von tektonischen und sedimentären Trennschnitten begrenzt werden, in denen Kluftwässer stagnieren oder zirkulieren können. Da die aufgefundenen Kluftkörper der Ruinenmergel kleiner als $\frac{1}{4}$ m³ sind, so ist anzunehmen, daß die hydrostatischen Drücke auf die verschiedenen Flächen eines Kluftkörpers gleich groß waren. Somit ist eine Durchströmung der Gesteinskörper nach dem Abschluß der Zerklüftung nicht mehr anzunehmen. Vor diesem

Abschluß waren die Klufträume abgeschlossen und bildeten zunächst noch kein zusammenhängendes, mit ausgetretenen Porenlösungen erfülltes, felshydraulisches System. Erst durch die weitere Zerklüftung des Gebirges wurden jene Klufthohlräume geöffnet und miteinander verbunden, was zu stärkeren Veränderungen in der Druckverteilung der Porenlösungen und damit zu Strömungsvorgängen führen mußte.

Der Ruinenmergel wird aus einer gasförmigen, einer flüssigen und einer festen Phase zusammengesetzt, wobei das Verhältnis dieser Phasen z. T. durch den der Gesteinsbildung entsprechenden jeweiligen Partialdruck bestimmt wird. In dem Maße, als sich die im Porenraum unter einem ursprünglichen Druck stehenden Porenlösungen nach der Zerklüftung (tektonische Phasen T_2—T_4 in Tabelle 2) zu den Klufthohlräumen hin ausdehnen konnten, mußten darin die expansionsbedingten Fließvorgänge stattgefunden haben, die von der Permeabilität bzw. von den Hauptachsen des Permeabilitätselipsoides abhängig waren. Alle späteren Stoffwanderungen sind dann auf Diffusionsvorgänge in den von Lösungen völlig erfüllten Poren- und Klufträumen zurückzuführen.

Auf dieses Abströmen von Porenlösungen in die ältesten Klufthohlräume (tekt. Phase T_2) lassen, wie bereits erwähnt, die weißen Kalzitausscheidungen in Form von Drusen und Kalzitadern bzw. Kristallrasen schließen, die zunächst keine Zufuhr von Eisenoxydhydrat der Verwitterungshülle oder von O_2- und CO_2-haltigen Tagwässern erhalten haben. Kluftkalzite, die auf das Eindringen karbonatreicher Oberflächenwässer zurückzuführen sind, müßten, da in der Lösung auch Eisenoxydhydrate enthalten wäre, gelblichbraun verfärbt worden sein, was hier nicht der Fall ist. Solche Verfärbungen sind nur als sekundäre, spätere Abscheidungen von Eisenoxydhydrat in Drusenräumen der Kalzitfüllungen zu beobachten. Mit dem Abströmen der im Porenraum gespannten Lösungen zu den Klüften bildeten sich infolge der Phasenverschiebung außer den bekannten Kluftkalziten vermutlich auch in den Porenräumen des Mergels selbst Kalkspatkristalle aus. Infolge der damit verbundenen Druckänderungen ist anzunehmen, daß die dadurch bedingten Änderungen der Gefügespannungen zunächst elastische, später auch plastische Verformungen des Mergels hervorgerufen haben, die den Porenraum ebenfalls veränderten.

Die Kalzitkristalle, welche sich in den Klufthohlräumen aus der durch das Druckgefälle abströmenden Porenlösungen abgeschieden haben, sind von der restlichen, ausgetretenen Porenlösung mit geringerer Konzentration umgeben worden. Das entstandene Konzentrationsgefälle zwischen dem Kernbereich der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

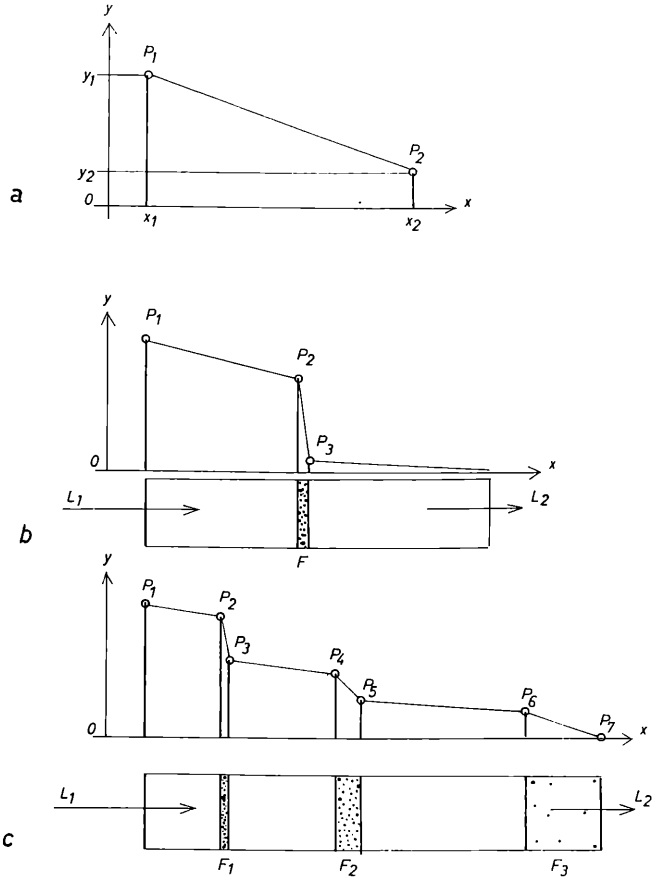
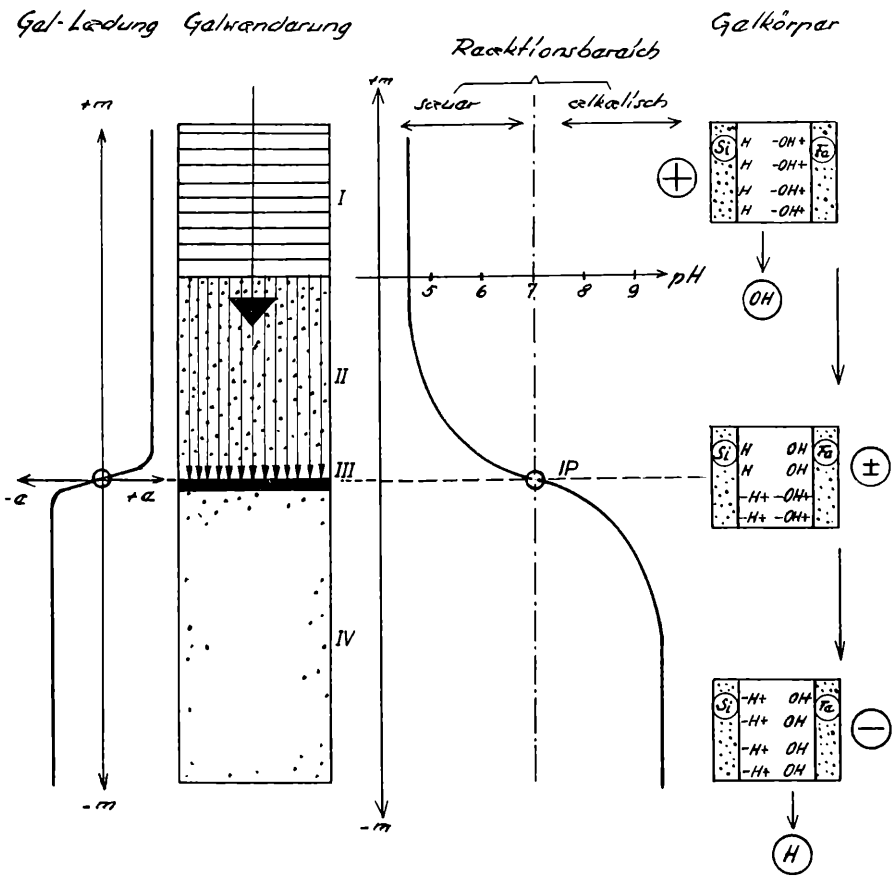


Abb. 11. Schematische Darstellung des Diffusionsgefälles (zentripetale Diffusion) bei rhythmischen Abscheidungen. Die jeweiligen Konzentrationen werden durch die entsprechenden Ordinaten (y) dargestellt und die räumliche Lage (x) durch charakteristische Punkte des Mergels entlang eines Diffusionsweges von der Kluftfläche (O) zum Kern des Kluftkörpers angedeutet. Abb. 11a zeigt das Diffusionsgefälle vom P 1 (x_1, y_1) nach P 2 (x_2, y_2). Dieses Diffusionsgefälle bedingt den Diffusionsstrom und damit die Stoffwanderung. Abb. 11b zeigt die Änderung des Konzentrationsgefälles durch Fällungen bzw. Abscheidungen (F) sobald die eindiffundierenden Stoffe (L_1) mit den vorhandenen oder ausdiffundierenden Lösungen bei entsprechenden beiderseitigen Konzentrationsbedingungen durch Fällung reagieren. Abb. 11c veranschaulicht die Veränderungen des Konzentrationsgefälles in Abhängigkeit von der Anzahl der Fällungen. Die Menge und Dichteverteilung der Abscheidungen (F 1—F 3) sowie ihre Abstände entlang des Diffusionsweges von L 1 nach L 2 und damit die Rhythmik der Fällungen sind von den genannten durch die Diffusion veränderlichen Konzentrationsbedingungen abhängig.

Kluftkörper und den Kluftflächen muß eine weitere Lösungszufuhr in die Klüfte zur Folge gehabt haben. Da die Permeabilität der Kalkmergel verhältnismäßig gering ist, haben sich diese Vorgänge in den größeren Kluftkörper der ersten Zerklüftung nur in geringem Umfang auswirken können (siehe Abb. 6). Erst die nachfolgende stärkere Zerklüftung in die oben genannten kleinen, flachen Keilkörper (Abb. 5) hat diesen Prozeß in verstärktem Maße ermöglicht. Die Kalzitbildungen, welche nach dieser Phase der intensiven tektonischen Zerklüftung entstanden sind, müssen somit ebenfalls auf Abscheidungen aus den Porenlösungen zurückgeführt werden. Nach dem Abschluß der Kalzitbildung in den Klufthohlräumen zwischen den Keilschollen begannen die Eisenoxydhydratlösungen in die offen gebliebenen Klüfte einzuwandern (Abb. 4, 5), was zur maßgebenden Diffusionsphase (L_4) geführt hat. Ob hierbei eine weitere Phase tektonischer Beanspruchung mitgewirkt hat, wobei die Klüfte bis zur Verwitterungszone des Gebirges durchgehend geöffnet worden sind, oder ob die Verwitterungsfront mit fortschreitender Erosion in die Tiefe vordringen konnte, oder, ob beides möglicherweise zusammengetroffen ist, kann zunächst nicht entschieden werden. Am wahrscheinlichsten ist aber die Auffassung, daß mit dem tertiären Abtrag des Gebirges auch die Verwitterungsfront im Zuge dieser Erosion nach der Tiefe zu fortschreiten konnte und daß ständig neue Kluftsysteme davon erfaßt worden sind. Durch das Eindringen der sauerstoff- und kohlensäurereichen Kluftwässer mit den Eisenoxydhydratlösungen aus der oberflächennahen Verwitterungszone (soweit diese nicht aus Verwitterungen der Kluftflächen selbst stammen) sind in den Kluftkörpern zentripetal gerichtete Diffusionsvorgänge wirksam geworden. Die Verfärbungen der Ruinenmergel zeigen, daß nach der geringfügigen Abwanderung von Eisenverbindungen zu den Kluftschnitten (Lösungsphase L_1, Abb. 6) eine verstärkte Zufuhr solcher Lösungen von den Kluftschnitten gegen die Kerne der Kluftkörper (L_4) stattgefunden haben mußte. Die Porenlösungen des Ruinenmergels und die wäßrigen Lösungen in den Klüften sowie die Verbindungen der Porenräume zu einem Leitungssystem sind wesentliche Voraussetzungen für diese später aufgetretenen Diffusionsvorgänge (L_4 der Tabelle 2). Diese mußten dann dem Fickschen Gesetz gehorchen, wonach bei zwei aneinander grenzenden, verschieden konzentrierten Lösungen des gleichen Stoffes der konzentriertere Stoff in die verdünntere Lösung eindiffundiert, und zwar so lange, als ein Konzentrations- bzw. Aktivitätsunterschied besteht (I. Lange 1942). Die relativ hoch konzentrierten, in die Klüfte eingedrungenen Eisenlösungen und die Eisenab-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

scheidungen an den Kluftflächen sowie die sehr niederen Eisenkonzentrationen im Kern der Kluftkörper haben eine kräftige zentripetale Diffusion bewirkt. Die in die Kluftkörper eindiffundierten Eisensole sind an der deutlichen gelblich-bräunlichen Verfärbung der hellgrauen Mergel zu erkennen. Diese in den Kluftkörper eindringenden Eisenlösungen haben die mit Kalziumkarbonat auskristallisierten Klüfte der Keilschollen nicht durchdringen können. Diese bildeten dafür ein undurchdringliches Hindernis (Abb. 5), wobei sich nicht nur diese Durchlässigkeitsbedingungen als eine Sperre für die Eisenlösungen ausgewirkt haben, sondern auch chemische bzw. kolloidchemische Reaktionen



(welche zur Koagulation der Eisensole infolge der pH-Werte der interkristallinen Porenlösung [Kalziumbikarbonat] geführt haben) die Wirkung dieser Kluftfüllungen als Sperrschichte gegen eindringende Eisenlösungen verstärkt haben. Diese Kluftfüllungen wirkten sich demnach auf die Bewegungen der Eisenlösungen wie eine undurchdringliche Membrane aus (Abb. 4, 5). Die Gesteinstrümmer des Ruinenmergels (Keilkörper) der maßgebenden tektonischen Beanspruchungsphase (Tabelle 2, T_4) wurden durch die Kalzitfüllungen der Klüfte zu Diffusionsgefäßen ausgebildet. In jedem dieser Gefäße hat sich dann ein eigener Diffusionsvorgang eingestellt (Abb. 4, 5, 18, 19). Die Schnitte durch die Kluftkörper des Ruinenmergels täuschen daher die tektonisch bedingte Verformung eines vorher durchgehenden Diffusionssaumes vor, was TOULA seinerzeit zu der falschen Beurteilung verleitet hat, daß es sich beim Ruinenmarmor um ein System grabenbruchartiger tektonischer Verschiebungsbrüche im Handstückbereich handeln müßte (Abb. 2). Die durch Kalzitadern bedingten zellenförmigen Diffusionsräume bestimmten somit die Lage und Form der Diffusionsfront der Eisenlösungen (Abb. 4, 5). Da diese Kalzitklüfte eine bestimmte statistische Raumstellung einnehmen und länglich-keilförmige Zellen bilden, die gegen die Flächen des größeren primären Kluftkörpers hin offen geblieben sind, konnte die Diffusion nur von diesen Flächen her eindringen (Abb. 2).

Abb. 12. Diagramm zur Erklärung des isoelektrischen Punktes von Kolloidreaktionen. Die kolloidalen Sole der Verwitterungslösungen, wie z. B. Kieselsäuresol und Eisenoxydhydratsol bilden kolloidale Salze, deren Bestandteile schwache, nur teilweise dissoziierte Elektrolyte darstellen. Die gegenseitige Neutralisation ist daher unvollständig. Das Gel bewahrt dadurch neben dem Salzcharakter noch saure (H-Ionen) und basische (OH-Ionen) Eigenschaften und besteht demnach aus dem Azidoit (schwache kolloidale Säure, wie z. B. Kieselsäure) und dem Basoid (schwache kolloidale Base wie z. B. Eisenoxydhydrat), es verhält sich amphoter. Im sauren Reaktionsbereich (Milieu) verhält sich das Kieselsäureeisengel durch Abspaltung der OH-Ionen elektro-positiv.
Im alkalischen Reaktionsbereich verschwindet die Dissoziation des Basoid, aber jene des Azitoids steigt beträchtlich an, so daß der Gelkörper negativ geladen wird. Beim Übergang der Lösung vom sauren zum alkalischen Reaktionsbereich tritt daher ein Zustand ein, bei dem das Kolloid in äquivalenten Mengen an Kationen und Anionen abdisoziiert und sich daher elektrisch neutral bzw. isoelektrisch verhält. Der pH-Wert, bei dem das amphotere Kolloid isoelektrisch wird, heißt isoelektrischer Punkt (W. LAATSCH). Daraus ergibt sich nach S. MATTSON (zitiert bei W. LAATSCH), daß ein amphoteres Verwitterungskolloid nicht durch die Zone seines isoelektrischen Punktes transportiert werden kann, da es dort seine Ladung verliert und zum Gel koaguliert. Das im sauren Milieu bewegliche positive Sol wird gegen den isoelektrischen Punkt zu instabil und verliert seine Ladung, so daß es koaguliert bzw. ausflockt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

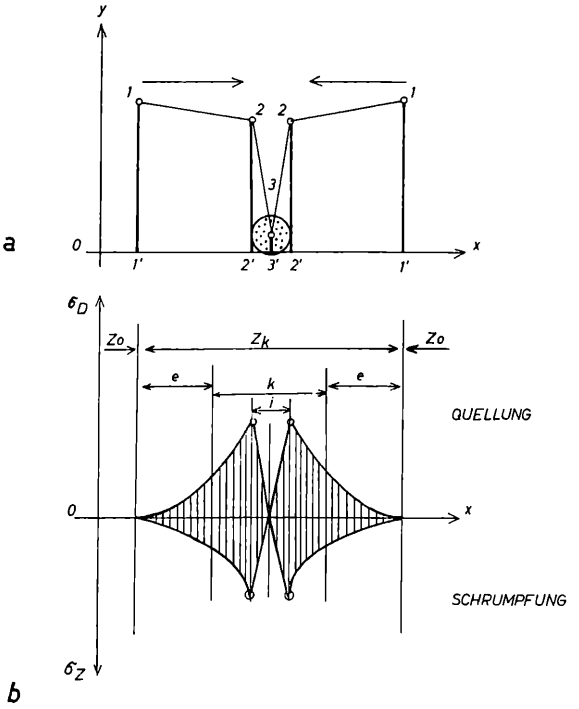


Abb. 13a stellt ein schematisches Diagramm der Konkretionsbildung des Eisenoxydhydrates dar. Die Ordinaten (y) geben verschieden hohe Lösungskonzentrationen (1, 2, 3) an, die sich im Gesteinskörper räumlich symmetrisch nach x verteilen. Der zeitlichen Abfolge entsprechend, wandern diese Lösungen von 1 nach 2, wobei in 2 die Fällungsreaktion eintritt und damit die Konzentration der Lösungen abgebaut wird (3). Dadurch entsteht ein Konzentrationsgefälle, wodurch der Diffusionsstrom zur Konkretionsoberfläche weiterhin anhält, der die Fällungspartikel angelagert werden. Im Bereich zwischen 2 und 3 werden die Fällungssubstanzen zur Konkretion aufgebaut. Abb. 13b zeigt die schematische Spannungsverteilung um eine Konkretion, und zwar die positiven Spannungen (Druckspannung σ_D) der wachsenden Konkretion (Quellung) und die negativen Spannungen (Zugspannungen σ_Z) der alternden Konkretion (Schrumpfung). Die räumliche Verteilung der Spannungen nach x lassen verschiedene Reaktionsbereiche erkennen: Zonen der Spannungsänderungen durch die Konkretion (z_K) innerhalb der unverändert bleibenden Gefügespannungen (z_0). Die Zone z_K läßt sich wiederum in einen Bereich mit abnehmender (e) und einen solchen mit zunehmender (k) Spannung unterteilen, in deren Zentrum ein starker Spannungsabfall zu erwarten ist (i).

Die lebhafte Zeichnung des Ruinenmergels wird außer von den genannten Keilschollen vor allem durch die streifenförmige Anordnung der Eisenoxydhydratabscheidungen bedingt. Diese lassen einen deutlichen Rhythmus erkennen, der auf Fällungs- bzw. Koagulationsvorgänge zurückzuführen ist. Bei diesen Abscheidungen der eindiffundierenden Eisensole mußten die aus karbonatischen, z. T. auch einen geringen Anteil an Kieselsäure enthaltenden Porenlösungen mit den eindringenden Eisenoxydhydraten ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ bis $Fe_2O_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ nach J. STINY 1952) in Reaktion treten. Die Dichte der Eisenhydroxydausscheidungen im Porenraum des Mergels nimmt bei den einzelnen Streifen in der Diffusionsrichtung jeweils zu und wird durch einen mehr oder minder scharfen Rand an der Diffusionsfront begrenzt. Diese rhythmisch angeordneten Abscheidungen sind darauf zurückzuführen, daß das kolloidale Eisenhydroxydsol durch das p_H-Milieu der Porenlösungen ausgeflockt wurde und sich später z. T. in feinste Konkretionen umgewandelt hat. Die Möglichkeit, daß nicht rhythmische Fällungen zu dieser charakteristischen Bänderung der Mergel geführt hätten, sondern diese nur durch verschiedene intensive Eisenoxydhydratanlagerungen im Gefüge einer Feinschichtung des Mergels entstanden sein sollten und damit nur vorhandene Feinstrukturen ausgefärbt worden sind, ist damit für die österreichischen Flyschmergel auszuschließen. Andernfalls müßte die Streifung des Mergels immer parallel zur Schichtfläche verlaufen, was durchaus nicht der Fall ist (Abb. 10). Wie aus den Abbildungen zu ersehen ist, kann diese Bänderung sowohl parallel zu den Schichtflächen als auch quer dazu beobachtet werden. Es handelt sich somit um kolloidchemische Fällungsreaktionen, die daher auch unabhängig von Schichtstrukturen stattfinden konnten. Vorhandene Schichtstrukturen können infolge der Richtungsabhängigkeit der Permeabilität und Diffusion die Fällungsvorgänge allerdings beeinflussen.

Das Eisenhydroxydsol entsteht bei der Verwitterung und bildet gemischte Gele bzw. Gele wechselnder Zusammensetzung, in denen Kieselsäure als saurer und das Eisenhydroxyd als basische Komponente auftreten können (Amphotere Kolloide). Bei geringen p_H-Konzentrationen (alkalischer Reaktionsbereich) verhalten sich solche amphotere Kolloide durch Abspaltung der positiven H-Ionen elektrisch negativ (Abb. 12). Bei hoher p_H-Konzentration der umgebenden Lösungen verhalten sich diese Kolloide durch Abspaltung der OH-Ionen elektrisch positiv. Bei einem bestimmten p_H-Wert (dem isoelektrischen Punkt) kann die elektrische Ladung eines Kolloides durch Zufügung von entgegengesetzt gerichteten Ladungen entzogen werden, wodurch die Koagulation ausgelöst

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wird. Diese Entladung der Kolloide kann auch durch Zusatz von Elektrolyten erfolgen oder durch entgegengesetzt geladene Sole bewirkt werden. Bei Verwitterungsvorgängen, die ein saures Milieu bilden, ist die Stabilität der positiven amphoteren Sole umso größer, je höher diese Konzentration ist. Sobald die positiven Sole dieses p_H-Milieu verlassen und in Bereiche mit geringerer p_H-Konzentration eindringen, werden sie instabil und verlieren ihre Ladung (E. SAUER 1935, W. LATSCH 1956, A. REIFENBERG 1929). Mit so einem Durchgang des Kieselsäure-Eisenoxydhydratsoles durch die Zone seines isoelektrischen Punktes beginnt die Koagulation bzw. Flockung der Eisenverbindungen, und es bildet sich ein braunes bis rostfarbenes Gel. Bemerkenswert ist, daß die basischen Sole des Eisenoxydhydrates außerordentlich reaktions- und wanderungsfähig sind (R. ZSIGMONDY). Die positiv geladenen Kolloide werden auch durch die Kalzium-Ionen der Porenlösung koaguliert, in die sie eindiffundieren. Die bei der Verwitterung entstehenden Kieselsäuresole können hierbei auf das Eisenhydroxydsol eine Schutzwirkung gegen deren Flockung durch Kalzium-Ionen ausüben, sie stellen dafür ein sehr wirksames Schutzkolloid dar und haben auch eine peptisierende Wirkung.

Die Eisenhydroxydsole des Ruinenmarmors sind nicht in leere Porenräume eingeströmt, sondern in die mit Lösungen erfüllten

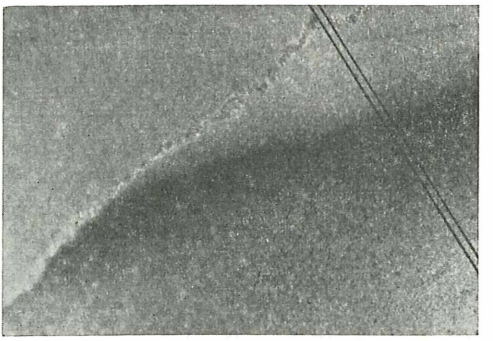


Abb. 14. Dünnschliff aus dem Ruinenmarmor der Abb. 9 (Aufnahme im gewöhnlichen Durchlicht) Maßstab ca. 15:1.
Die Aufnahme zeigt die Gradation der Fällungspartikel in Form von Konkretionen aus Eisenoxydhydrat der Lösungsphase L 4, deren Abscheidungs- bzw. Fällungsfront mehr oder weniger senkrecht zur Schichtung erfolgte (diese verläuft von der rechten unteren zur linken oberen Bildecke). Die diffuse Verteilung dieser Partikel in der unteren Hälfte des Bildes wird durch einen scharfen dunklen Saum begrenzt, auf dem wieder ein schmaler Saum mit diffuserer Verteilung folgt. Der Verlauf des Diffusionsstromes ist vom unteren zum oberen Bildrand zu denken.

Porenräume eindiffundiert und koaguliert. Wir sehen somit an Stelle der zu erwartenden gleichmäßigen Durchtränkung des Mergels mit Eisenoxydhydratlösungen eine streifenförmige Verteilung ihrer Koagulate. Diese Diffusionsvorgänge sind daher von etwaigen Schichtungen des Gesteins unabhängig (siehe oben) und erinnern der Form nach an LISEGANGsche Ringe. Die LISEGANGschen Ringe entstehen nach der Theorie von W. OSTWALD (W. O. OSTWALD 1927) als periodisch chemische Fällungserscheinungen in Gallerten. Die Fällung tritt hierbei ein, sobald der von außen nach dem Gallertinneren vordringende Diffusionsstrom chemischer Lösungen (zentripetale Diffusion) mit einer anderen chemischen Lösung als Reaktionsstoff (mit zentrifugaler Diffusionsrichtung) zusammentrifft und dadurch eine echte chemische Fällung erzeugt. Die chemischen Stoffe dieser Reaktionssysteme müssen innerhalb der Gallerte ein begrenztes chemisches Gleichgewicht bilden (reversible Reaktionssysteme). Durch Superposition der zentrifugalen und zentripetalen Diffusionswellen der Reaktionskomponenten in der Gallerte entstehen dann die genannten rhythmischen Fällungen, als sogenannte LIESEGANGsche Ringe. Diese Diffusionswellentheorie läßt sich nicht unmittelbar zur Analyse des Ruinenmergels heranziehen, weil es sich hierbei um kolloidale Lösungen (Sole) handelt, welche in die vorwiegend mit chemischen Lösungen erfüllten Porenräume eindringen und reagieren konnten. Die rhythmischen Abscheidungen sind hierbei nicht als Fällungen

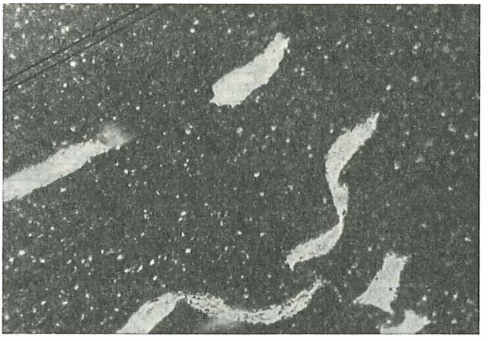
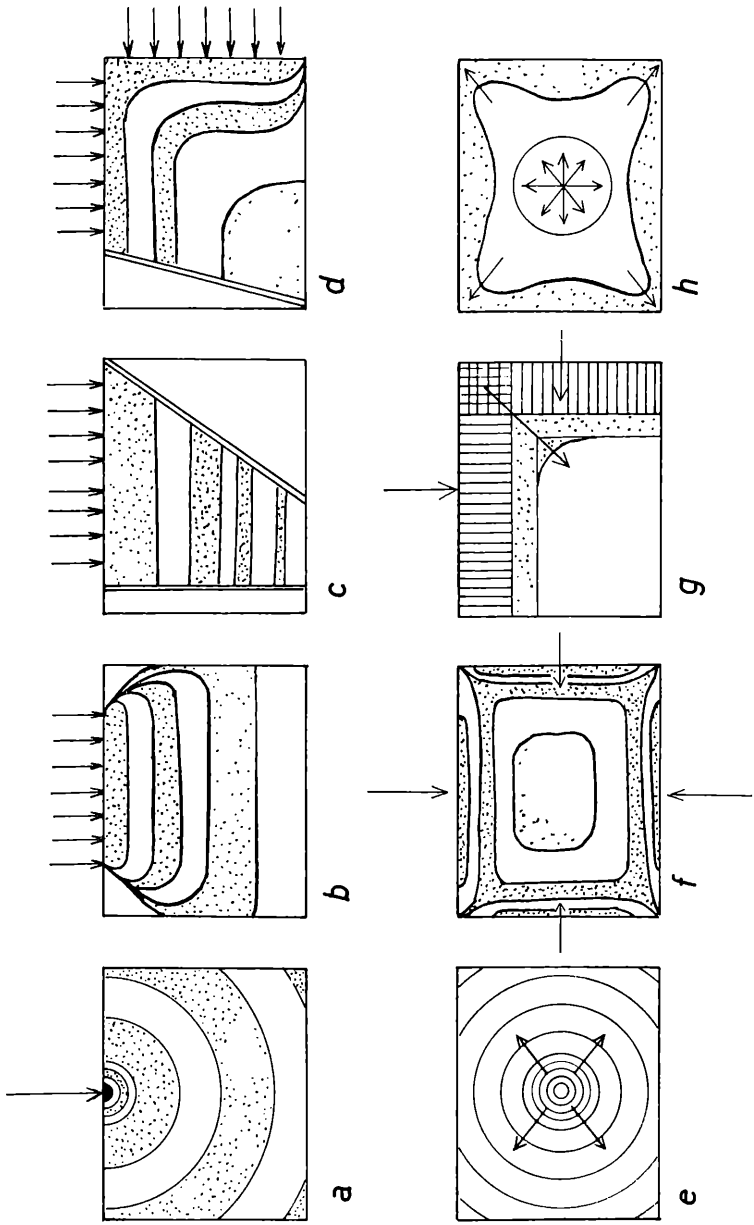


Abb. 15 zeigt Mikroschnitte (Aufnahme im gewöhnlichen Licht) durch kleine Chondriten, an deren Formen sowohl die Lage der Schichtflächen zu erkennen ist (sie verläuft von der linken unteren zur rechten oberen Bildecke) als auch die Verdrückung (Stauchungen, Scherungen) senkrecht zur Schichtung infolge der zunehmenden Auflast während der Sedimentation (tektonische Phase T_0). Dünnschliff wie in Abb. 14 aus der Sammlung Dr. H. HÄUSLER. Maßstab: 30:1 (Aufnahme Dr. H. HÄUSLER).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at



chemischer Reaktionsabläufe aufzufassen, sondern als Koagulationen des amphoteren, durch Kieselsäuresol geschützten Eisenoxydhydratsoles. Um diese beiden zu ähnlichen rhythmischen Abscheidungen führenden Vorgänge voneinander zu unterscheiden, mögen die von W. OSTWALD beschriebenen Rhythmen als LISEGANGsche Ringe erster Art bezeichnet werden und solche, deren Fällungen durch Koagulationen zustandegekommen sind als LISEGANGsche Ringe zweiter Art. In beiden Fällen besteht eine weitere Ähnlichkeit auch darin, daß die Abstände der Fällungsstreifen (Ringe) in Richtung der eindiffundierenden Stoffe infolge von Konzentrationsabnahmen (R. E. LISEGANG 1913) zunehmen. Diese Abstandsveränderungen der Diffusionsbande, auf die auch F. BERNAUER (1924) an mergeligen Plattendolomiten des Keupers von Lothringen hingewiesen hat, sind am Ruinenmergel deutlich zu beobachten (siehe Abb. 4, 5). Solche Erscheinungen wurden vom Verfasser auch an niederösterreichischen Granuliten, an Flyschsandsteinen von Waidhofen a. d. Ybbs und an Solnhofener Platten beobachtet.

Abb. 16 zeigt verschiedene Arten von Lösungswanderungen und deren Fällungen bzw. Abscheidungen an ebenen Schnitten in schematischer Darstellung. Abb. 16a veranschaulicht das Eindringen der Lösungen an einem einzigen Punkt des Gesteines und deren kugelförmige Ausbreitung bzw. deren Abscheidungsfolge (siehe auch Abb. 21). In Abb. 16b ist der Lösungseintritt durch eine begrenzte Oberfläche in den unbegrenzten Porenraum dargestellt und der entsprechende kombinierte platten- und kugelförmige Verteilungskörper im Gesteinsgefüge angedeutet (siehe auch Abb. 2). In Abb. 16c wurde der Eintritt der Lösungen durch eine begrenzte Oberfläche in einen begrenzten Porenraum dargestellt, wobei eine plattenförmige Verteilung entsteht (siehe auch Abb. 4). In Abb. 16d wurde die Lösungsverteilung nach dem Eintritt durch zwei begrenzte, senkrecht aufeinander stehende Flächen in den einfach begrenzten Porenraum dargestellt. In Abb. 16e wird im Gegensatz zu den vorhergehenden Darstellungen eine zentrifugale Lösungswanderung angedeutet, die sich in Form von Kugelschalen (vom Quellpunkt der Lösung) ausbreitet. Abb. 16f zeigt die Lösungswanderung und Verteilung durch vier Seiten des parallelepipedischen Kluftkörpers zum Kernbereich. Abb. 16g erläutert die Lösungswanderung in den Eckbereichen des Körpers von Abb. 16f, bei der die Spitzkurven der Ecken gegen das Zentrum in die Kreisbögen übergehen. Es ist dies durch die Superposition bzw. Addition der eindringenden Lösungsfronten in den Eckbereichen zu erklären, wodurch ein Lösungsüberschuß entsteht, welcher zum Zentrum vorauseilen muß. Abb. 16h stellt den umgekehrten Vorgang der Abb. 16f und g dar, nämlich die Abwanderung der Lösung vom Kernbereich des Gesteinskörpers nach den Begrenzungsflächen (siehe Abb. 16e). In diesem Fall tritt in den Eckbereichen eine Subtraktion der Lösungsmengen durch negative Superposition der Lösungsfronten ein, so daß diese ohrenförmig verlaufen müssen. Infolge positiver und negativer Superposition der Lösungsfronten bei zentrifugaler bzw. zentripetaler Lösungswanderung lassen sich aus den entsprechenden Abbildungen im Gestein der jeweilige Sinn der Lösungsbewegungen erkennen und angeben, ob der Gesteinskörper der Verdunstung ausgesetzt war oder von eindringenden Lösungen umschlossen worden ist.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Koagulation des in den Ruinenmergel eindiffundierenden Eisenhydroxydsoles mußte auf Grund des oben genannten amphoteren Verhaltens dieses Soles erfolgen, sobald es mit dem Kieselsäuresol gekoppelt ist. Dieses amphotere Eisenhydroxyd-Kieselsäurekolloid koaguliert in Abhängigkeit von der elektrischen Ladung, die wiederum durch das jeweilige p_H-Milieu des Mergels gegeben ist, das bei der Diffusion durchströmt wird. Beide Kolloide entstammen der Verwitterungsschwarte des Flysches, sie konnten in die Klüfte einwandern und in die Porenlösungen der Kluftkörper eindiffundieren. Diesem zentripetalen Diffusionsstrom der amphoteren Kolloide wirkte der zentrifugal gerichtete Diffusionsstrom von Kalzium- und Eisenverbindungen und z. T. auch Kieselsäure aus den Kluftkörpern entgegen (siehe oben), wobei sich beide Arten der Diffusion überlagern konnten (siehe Abb. 8). Sobald dabei der Isoelektrische Punkt erreicht wurde, erfolgte die Koagulation (Abb. 12), da nach S. MATTSON (siehe W. LATSCH 1954) ein amphoteres Kolloid nicht durch die Zone seines Isoelektrischen p_H-Wertes transportiert werden kann. Die genannten Kolloide der Flyschverwitterung mußten sich zunächst in Bereichen mit relativ hoher p_H-Konzentration bewegen und erhielten dadurch eine elektropositive Ladung. In den Porenräumen der Ruinenmergel müssen den Prozenten an Festsubstanzen (Kalziumkarbonat, Tonerde, Eisenhydroxyd, Kieselsäure) entsprechende Lösungen dieser Stoffe und damit ein p_H-Milieu relativ geringerer H-Ionenkonzentration als vorhin angenommen werden. Die Kolloide aus der Verwitterungszone müssen auf dem Diffusionswege mit steigendem p_H-Wert instabiler geworden sein und ihre elektrische Ladung verloren haben, sobald der p_H-Wert der unbeeinflußten Porenlösung dem isoelektrischen p_H des Soles entsprochen hat. Das Sol koagulierte und bildete ein braun-rostfarbenes bis gelbes Gel (W. LATSCH 1956), das die Farbstreifen des Ruinenmergels bedingte. Bei diesen Koagulationen muß außerdem die flockende Wirkung der zweitwertigen, elektrisch positiven Ca-Ionen der Porenlösung auf die elektrisch neutral gewordenen Kolloide berücksichtigt werden. Durch das zentrifugal zum Kluftkörper ausgebildete Konzentrations- bzw. Diffusionsgefälle der kalziumhaltigen Porenlösungen wurde der p_H-Wert an den freien Kluftflächen soweit verändert (z. B. Kalzitabscheidungen oder Karbonatabfuhr), daß sich für die Kolloidbewegungen ein günstiges p_H-Milieu bildete. Das in den Klüften zirkulierende primär amphotere Kolloid konnte, dadurch begünstigt, in die Mergel eindiffundieren. Bei diesem Vorgang ist nochmals zu bedenken, daß infolge des starken Konzentrationsgefälles im Kluftkörper auch die Tendenz

einer zentrifugalen Diffusion von Eisenlösungen mitwirkte. Durch die jeweils vorhergehende Koagulation der Eisenverbindungen im Mergel wurde für das nachdiffundierende Eisensol der weitere Weg in den Kluftkörper hinein vorbereitet. Da nach A. REIFENBERG (1929) das Kieselsäuresol von relativ hohem p_H-Wert mehr an Eisen peptisiert als umgekehrt, so kann bei einem bestimmten p_H-Wert die Koagulation des Eisenoxydhydrates mit der Peptisation im Gleichgewicht stehen und ein weiteres Eindringen von Eisensol in den Porenraum ermöglichen. Infolge der Koagulation wird die (zentripetal) eindiffundierende Verwitterungslösung verändert, sie wird in einen festen und einen flüssigen Anteil zerlegt. Je nach dem Gehalt des Koagulates an flüssiger Phase wird diese über den Fällungsstreifen gegen den Kernbereich des Kluftkörpers vordringen und das p_H-Milieu nach der sauren Seite hin verändern. In diesem neugeschaffenen p_H-Milieu kann ein weiterer Diffusionsschub solange in den Mergel hinein vordringen, bis wiederum die isoelektrische Zone erreicht ist und die Koagulation des amphoteren Eisensoles erfolgt. Je geringer die Konzentration der Verwitterungslösung in bezug auf das Eisensol ist, desto größere Teile des Ruinenmergels werden in ihrem p_H-Milieu verändert und desto größere Fällungsabstände müssen erwartet werden. Somit wurde die isoelektrische Zone des Ruinenmergels jeweils bzw. nach jeder Fällung um einen der jeweiligen Konzentration verkehrt proportionalen Abstand zentripetal verlagert, wodurch die rhythmische Anordnung der Fällungsstreifen entstehen konnte.

Am Ruinenmergel wurden in den randlichen Bereichen der primären Kluftflächen Auswaschungszonen (Bleichungszonen) beobachtet (Abb. 4, 24), die vereinzelt auch an niederösterreichischen Granuliten mit mehrfachen Diffusions- bzw. Fällungsstreifen von Eisenoxydhydrat festgestellt wurden. Die Bleichung ist teilweise auf die genannte Peptisation des Eisenoxydhydrates zurückzuführen, wie dies in ähnlicher Weise bei der Podsolierung von Bodenprofilen stattfindet.

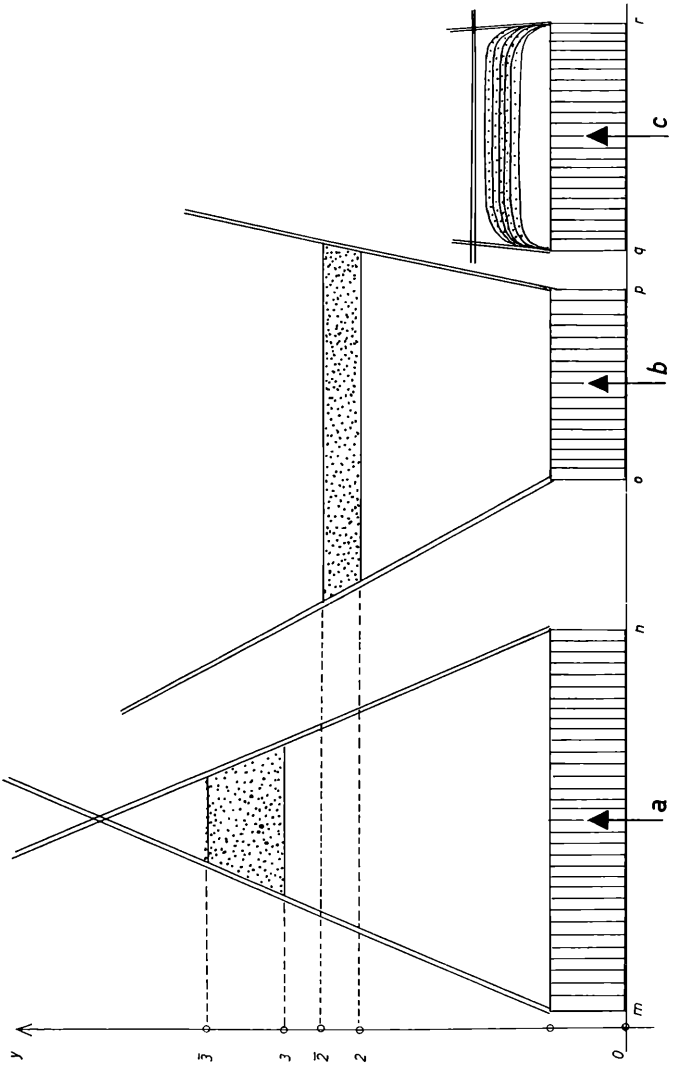
Die Koagulationsrhythmen des Ruinenmergels sind unter der bisher genannten Feststellung von einer Reihe geologischer Faktoren abhängig. Dadurch wird die Analyse der zeitlichen Abfolge des geologischen Geschehens aus den Intensitäten und Abständen der Eisenoxydhydratbänder erschwert.

Diesen Feststellungen entsprechend waren die Koagulationsrhythmen von der Verwitterung abhängig und damit auch von der Erosion des Flyschreliefs, vom Klimaverlauf sowie vom Zeitpunkt und der Art der tektonischen Beanspruchung bzw. von der Form und Größe der Kluftkörper, vom zirkulierenden Kluftwasser, von

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der Felshydraulik sowie den Gesteinseigenschaften des Mergels und der davon beeinflußten Koagulations- und Peptisationsvorgänge.

Aus der Vielfalt dieser Beziehungen soll nur die Abhängigkeit der Koagulationsrhythmen von der Form der Keilkörper des Ruinenmergels näher beleuchtet werden. Wie bereits erwähnt,



ist jeder dieser Keilkörper als dichtes Gefäß aufzufassen, in welches das Eisensol von der offenen Seite her, nämlich der primären Kluftfläche des Mergelblockes eingedrungen ist.

Da diese mit Kalziumkarbonat verheilten Kluftflächen der Keilkörper spitzwinkelig bis parallel zueinander und zu den entsprechenden freien bzw. offenen primären Kluftflächen des Mergels verlaufen, sind zwei verschiedene gleichzeitige Diffusionsbewegungen zu unterscheiden. Die eine davon erfolgte in der Längsrichtung der durch die Kalkspatklüfte begrenzten Keilkörper. Die Diffusionsfront und deren Koagulationsstreifen mußten sich dem Konzentrationsgefälle der Lösungen entsprechend senkrecht auf diese Längsrichtung hin einstellen, was zur kennzeichnenden Streifung des Ruinenmergels geführt hat. Die andere Art der Diffusionsbewegung ist nur untergeordnet und fallweise zu beobachten, sie verläuft quer zu diesen Kalzitklüften und konnte daher nur in die nach der offenen Kluft des Kluftkörpers zu liegenden randlichen Keilschollen eindringen. Ihre Koagulationsstreifen beginnen sich mehr oder weniger parallel zur freien Kluftfläche auszubilden, d. h. also, ebenfalls senkrecht zur Diffusionsrichtung einzustellen (Abb. 2, 18a).

Abb. 17. Ergänzend zu den in Abb. 5 erläuterten Vorgängen über die Bewegung und Verteilung des Diffusionsstromes zeigt diese schematische Darstellung die Lösungswanderungen in verschieden geformten „Gefäßen". Diesen „Gefäßen" entsprechen die Kluftkörper, die „Keilschollen" des Ruinenmergels, welche mit Kalzit verheilt und dadurch für Diffusionsbewegungen undurchlässig geworden sind. Diese Dichtungslamellen werden als Doppellinien dargestellt und die in der Zeiteinheit durch die begrenzte Gesteinsoberfläche eintretenden Lösungsmengen des Diffusionsstromes durch die schraffierten Bereiche ($\overline{mn}$, $\overline{op}$, $\overline{qr}$) mit den Ordinaten $\overline{01}$ gekennzeichnet. Da die Abscheidung des Eisenoxydhydrates (punktierte Flächen) vom p_H-Milieu bzw. den Konzentrationen der Porenlösungen abhängt, in welche der Diffusionsstrom eindringt, so ist sie auch vom Volumen des „Gefäßes" abhängig, wie dies schematisch angedeutet wurde. Im Schema der Abb. 17a dringt eine relativ große Lösungsmenge ($\overline{mn}$, $\overline{01}$) mit breitem Fällungsband tief in das Gefäß ein, da diese Lösungsmenge einerseits gegen die Keilspitze konzentrierter wird, anderseits aber nur auf geringe Mengen an Reaktionsstoffen der Porenlösung trifft, die zur Fällung nötig sind, so daß sie auch aus diesem Grunde bis zum Ordinatenabschnitt 3 vordringen konnte. In Abb. 17b wird die rasche Erschöpfung, d. h. Konzentrationsabnahme der durch die gegenüber $\overline{mn}$ kleine Eintrittsfläche $\overline{op}$ verringerte, in den geöffneten Keilkörper eindiffundierende Lösungsmenge ($\overline{op} \times \overline{01}$) angedeutet. Der eindiffundierende Lösungsstrom trifft hierbei auf einen ausreichenden Vorrat an milieubestimmenden Stoffen der Porenlösung und wird dadurch rascher ausgefällt als dies in Abb. 17a zu erwarten ist. Die kleine geschlossene Kammer der Abb. 17c zeigt das Übergewicht an eintretender Lösung ($\overline{qr} \times \overline{01}$) gegenüber dem Volumen der Porenlösung, durch die die Fällung des Eisenoxydhydrates bewirkt wird. Die eindiffundierende Lösung „verbraucht" diese Porenlösung vorzeitig und füllt den gesamten Gefäßraum weitgehend aus.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

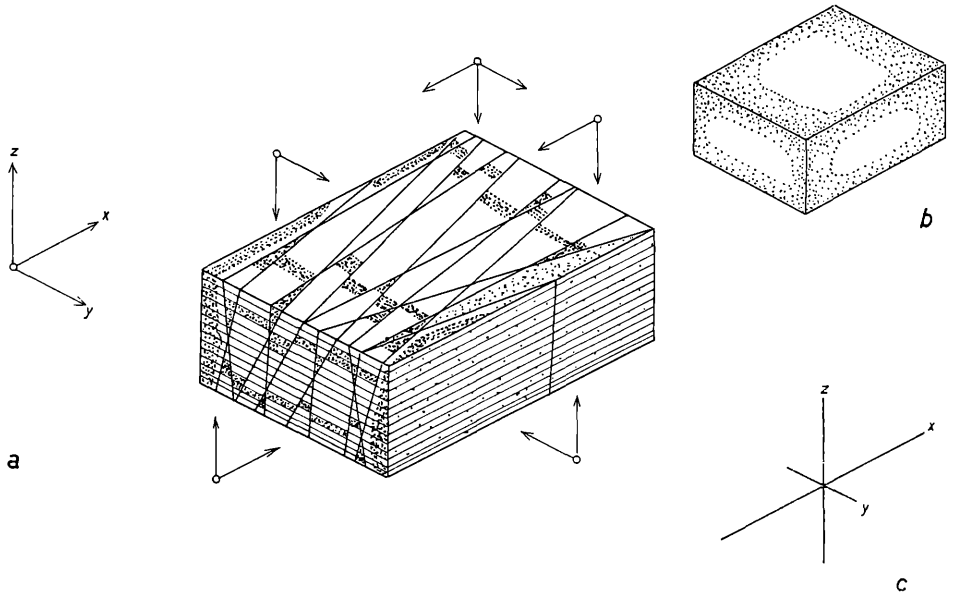


Abb. 18a. Diese Abbildung stellt das Diffusionsschema des Ruinenmergels dar, der bereits durch die tektonischen Beanspruchungen in „Keilschollen" zerlegt wurde, die miteinander durch Kalzit verbunden und dadurch gedichtet worden sind. Abb. 18b zeigt den Restkörper der aus einem unzerklüfteten, parallelepipedischen Kluftkörper nach der Diffusion herausgeschnitten wurde, wobei die oberflächennahen Teile entfernt worden sind. In diesem Schema wurde die hohe Dichte der Eisenabscheidungen (Punkte) im Kantenbereich infolge Superposition der zentripetalen Diffusion angedeutet. Im zerklüfteten Körper dagegen bzw. in den Gefäßkörpern der Abb. 18a sind solche Diffusionsbewegungen zu erwarten, wie sie in Abb. 16c angedeutet worden sind. Sie sind von der Gestalt der „Gefäßkörper" und deren Lage zu den Oberflächen des Kluftkörpers abhängig, durch die die Lösung in das Gestein eindiffundieren konnte (Pfeile). Die Fällungen bzw. Abscheidungen (punktiert) verteilen sich daher unabhängig von der nur sehr geringfügig ausgebildeten Schichtung des Gesteins (Schraffur). Abb. 18c zeigt die Achsen des der Abb. 18a entsprechenden Diffusionsellipsoides.

Die an Kluftkörpern anderer Gesteine beobachteten Diffusionen, die keine weiteren Zerlegungen und Verwitterung erfahren haben, sind von den Kluftoberflächen in geschlossenen Ringstreifen zum Kern vorgedrungen (Abb. 18). Infolge der Gefäß- bzw. Kammersysteme der Ruinenmergel wurde der ansonst einheitliche Diffusionsvorgang zerlegt, wobei sich in jedem Gefäß ein spezieller Diffusionsverlauf einstellen mußte. Der Verlauf dieser Diffusionsbewegungen in den einzelnen Gefäßen (Keilschollen) wurde von der Diffusionsrichtung, der Gefäßform und deren Größe bestimmt sowie von der Rhythmik des Koagulationsvorganges selbst, wobei sich durch die Konzentrationsabnahme gegen den Kernbereich des Mergels infolge der Kolloidreaktionen die Abstände der Koagulationen vergrößerten (Abb. 5). Somit wurden die Abstände und Verteilungen der Koagulationsstreifen im wesentlichen auch durch die Form der genannten Gefäßkörper bedingt. Erfolgt die Diffusion in den spitzwinkeligen Teil eines solchen Gefäßkörpers, so erhöht sich bei etwa gleicher Diffusionsgeschwindigkeit gegenüber einem Gefäßkörper mit parallelen Wänden deren Dauer, und die Koagulationslinien ragen über die des anders geformten Gefäßkörpers gegen das Innere des Gesteinsblockes vor (vergl. die Abbildungen verschiedenartiger Schwankungen der Diffusionsdauer im Bereiche E der Abb. 5). In sehr breiten Gefäßkörpern bleibt die Diffusion gegenüber den schmalen Körpern etwas zurück. Diffusionen gegen die Spitze solcher Gefäßkörper können durch die Gefäßwand an der Weiterbewegung so behindert werden, daß sie ganz oder teilweise ausfallen (Abb. 17).

Die verschieden langen Diffusionswege, die wir im Anschliff des Ruinenmergels beobachten können, sind von den Porenlösungen und den eindiffundierenden Stoffen abhängig zu denken. Die verschieden langen Diffusionswege bis zu den Fällungsfronten ergeben sich somit aus den Querschnittsveränderungen der Gefäßkörper und den damit bedingten Änderungen der Diffusionszeiten (und -geschwindigkeiten) bzw. aus den Konzentrationsdifferenzen und Mengen der dadurch begrenzten Reaktionslösungen des Porenraumes. Die für den Ruinenmarmor somit spezifische Zeichnung wird durch dessen System von Gesteinsgefäßen bedingt. Es muß nun noch die Frage angeschnitten werden, wieso auch in jene Kluftgefäße Eisenlösungen eindringen konnten, deren Spitze dem Diffusionsstrom entgegengerichtet waren. In solchen Fällen hätte das Kalziumkarbonat der Trennwände das Eindiffundieren der Eisensole verhindern müssen. In manchen Fällen ist dies auch tatsächlich verhindert worden (Abb. 19), in anderen aber anscheinend nur zum Teil oder gar nicht. Hierbei liegt lediglich ein Schein-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

problem vor, welches dann entsteht, wenn ein räumliches Gefäßsystem nur an Hand eines ebenen Schnittes beobachtet werden kann. Es handelt sich ja um Diffusionen in plattigen bzw. flachkeilförmigen, prismenförmigen Gesteinsgefäßen, deren Ebenen sich verschneiden. In einer Anschnittebene könnte dann unter Umständen nur die Verschneidung der Gefäßwand sichtbar werden, obwohl das betreffende Gesteinsgefäß in räumlicher Hinsicht dem Diffusionsstrom gegenüber geöffnet ist.

An den Ruinenmergeln ist fallweise noch eine andere Art der Eisenoxydhydratanreicherung zu beobachten, die in sehr geringem Umfange an die feinen Kalzitklüfte der Keilschollen gebunden ist. Die Formen dieser Fällungsbereiche sind meist kugelig bis zylindrisch ausgebildet und in seltenen Fällen auch lagenförmig zwischen den Kluftkalziten und der Mergelwand zu beobachten (Abb. 2, 20—22). In den meisten Fällen sind es kleine, voneinander getrennte dunkelbraune Diffusionshöfe. Ihre Färbung ist wesentlich intensiver bzw. dunkler als bei den streifenförmigen Eisenabscheidungen. Es ist aber auch zu beobachten, daß bei den

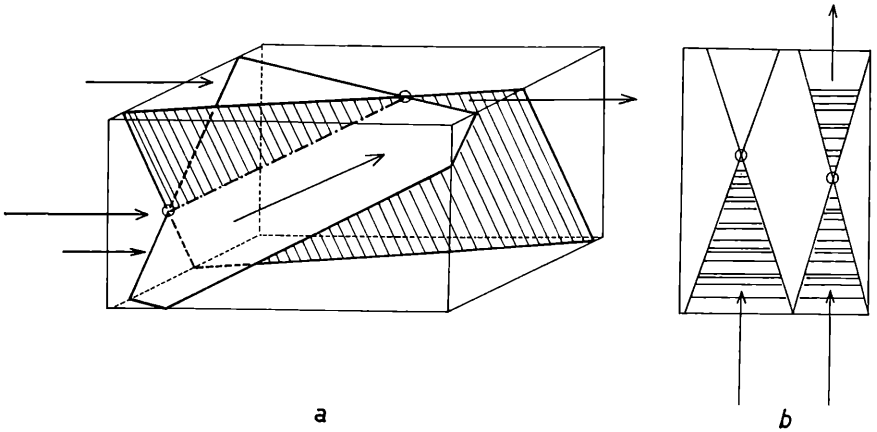


Abb. 19. Die Darstellung erläutert den scheinbaren Widerspruch, daß sich Diffusionslösungen entgegen den sonstigen Beobachtungen über die gefäßbildende Wirkung der durch Kalzitlamellen abgedichteten Keilschollen bewegen können. Die in der rechten Hälfte der Abb. 19b dargestellte Situation entspricht dem scheinbaren Durchtritt der Lösungen durch die Kalzitdichtungen über den Schnittpunkt hinaus, der den anscheinenden Schluß des Gefäßes bildete. Ein Widerspruch kann nur aus dem Fehler erfolgen, der bei allen geologischen Analysen eintritt bzw. verursacht wird, sobald das räumliche Problem durch Analyse eines einzigen Beobachtungsschnittes gelöst wird. Abb. 19a läßt diesen Widerspruch an Hand der räumlichen Darstellung ohne weiteres erkennen.

vielen Kalzitklüften eines Handstückes diese Diffusionshöfe generell nur auf jeweils ein und derselben Seite der Kalzitlamelle vorhanden sind. Dabei ist deutlich zu erkennen, daß auch diese Eisenlösungen die Kalzitmembrane in den Klufthohlräumen nicht durchdringen konnten. Die Lösungen konnten sich nur in Hohlräumen zwischen diesen Kalzitfüllungen und der Kluftwand des Mergels und in diesen hineinbewegen. Die genannte Beobachtung,

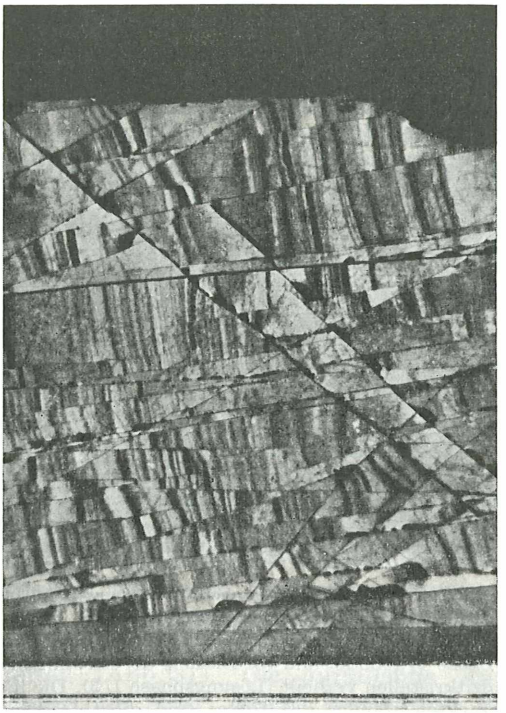


Abb. 20. Teilaufnahme einer 9,0 × 15,0 cm großen Fläche eines Ruinenmergels von Klosterneuburg (Kahlenberger Schichten, Oberkreide) mit dem Aquisitionsjahr 1895 aus der Sammlung des Geologischen Institutes der Technischen Hochschule in Wien. Die Fläche wird durch Klüfte der tektonischen Phasen T_3 (Diagonalklüfte) und T_4 (flache Keilschollen) gegliedert und läßt die verschiedenen Fällungen der Lösungsphasen L 4 (Eisenlösung I) erkennen sowie die besonders deutlichen, entlang der Klufträndер der Keilschollen angeordneten Abscheidungen der Lösungsphase L 5 (Eisenlösung II). An den freien Seitenflächen der „Keilschollen" dieses Stückes, welche senkrecht zur Schliffoberfläche verlaufen, konnten feine Systeme von Harnischriefungen beobachtet werden. Abbildungsmaßstab ca. 1:1 (Aufnahme cand. geol. W. Eppensteiner).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

daß jeweils nur in einer bestimmten Richtung des Handstückes der Kluftkalzit mit dem Mergel völlig verwachsen ist und daß nur in der Gegenrichtung fallweise kleinere Hohlräume (Lücken, Riefungen und Spalten) verblieben sind, in die das Eisenoxydhydrat eindringen konnte und von diesen Hohlräumen aus in den Mergel eindiffundiert ist, wird später behandelt. In den Schliffen ist zu erkennen, daß diese Diffusionen (L_5) unabhängig von den bisher beschriebenen Diffusionen und später stattgefunden haben (Abb. 21). Die zentrifugalen Diffusionen seien hierbei als Diffusion I. Art bezeichnet. Die Diffusion II. Art wurde durch die Kalzitklüfte behindert und bilden sich in Form der charakteristischen Streifung des Ruinenmergels ab. Die Diffusion III. Art

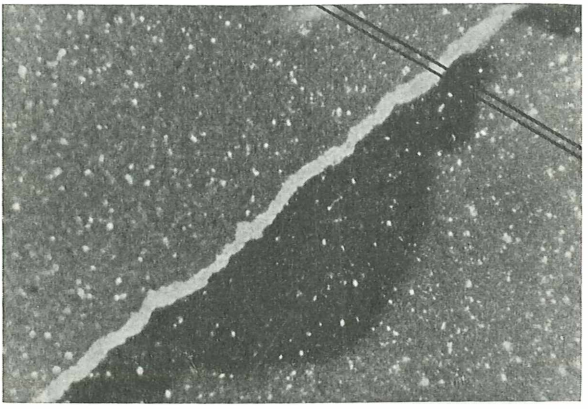


Abb. 21. Ausschnitt aus demselben Dünnschliff wie in Abb. 14. Die Lage der Schichtfläche verläuft von links oben nach rechts unten. Das Gesichtsfeld wird von einem Riß durchzogen, der zwei „Keilschollen" trennt. Dieser Riß wurde in der tektonischen Phase T_4 gebildet und vor Bildung der Rhythmen aus der Lösungsphase L 4 mit Kalzitkristallen verheilt (Lösungsphase L 3). Die mehr oder weniger parallelen, feingezackten Ränder des Risses sind die Querschnitte jener Scherflächen, die durch den Gleitungsbruch gebildet worden sind (siehe auch Abb. 20). Die dunklen, konzentrischen und scharfrandigen Eisenoxydhydratabscheidungen sind auf vereinzelte, linear gerichtete Lösungswanderungen (Lösungsphase L 5) zurückzuführen, die nach örtlicher Zerstörung des Kontaktes von Kalzit und Mergel im Zuge der tektonischen Phase T_5 eingesetzt haben und sich entlang der Riefungen auf den Gleitflächen bewegen konnten. Untersuchungen von Querschnittsformen dieser Abscheidungen haben gezeigt, daß die Diffusion in der Schichtungsebene von der linken oberen zur rechten unteren Bildecke begünstigt worden ist. Abbildungsmaßstab ca. 30:1.

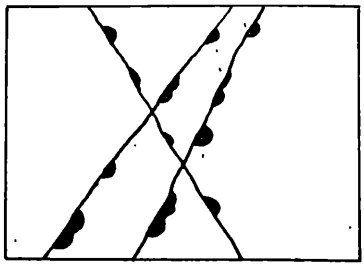
Dünnschliff aus der Sammlung Dr. H. HÄUSLER, Langenzersdorf (Aufnahme Dr. H. HÄUSLER).

nimmt, wie erwähnt, von den genannten Kalzitklüften ihren Ausgang. Der relativ geringe Diffusionsweg und die sehr dunkle Färbung als Zeichen hoher Eisenkonzentrationen lassen vermuten, daß die Eisenlösungen eine wesentlich höhere Konzentration gehabt haben mußten, als dies bei der Diffusion II. Art der Fall war. Der kurze Diffusionsweg bis zur Fällung im Bereich der isoelektrischen Zone zeugt für hohe p_H-Werte in den Porenlösungen bei hohen Eisenkonzentrationen. Die Diffusion III. Art erfolgte ebenfalls in mehreren Phasen, so daß mehrere Diffusionsschübe zu beobachten sind. Der Dünnschliff (Abb. 21) läßt erkennen, daß die Sickerbahnen der Diffusionen III. Art zwischen dem Kluftkalzit und dem Mergel aufgerissen sein mußten, was auf eine spätere tektonische Beanspruchung schließen läßt, wobei die verheilten Risse als mechanische Schwächestellen zu Leitflächen der neuen Verformung wurden. Beobachtungen an ausgewitterten Kluftkalziten von tonig-mergeligen Gesteinen zeigen an ihren Flächen oftmals parallel angeordnete Riefungen bzw. Striemungen, deren Querschnitte mit jenen Formen des Ruinenmergels an den genannten Kalzitklüften übereinstimmen. Es konnte beobachtet werden, daß die Kluftflächen des Ruinenmergels ebenfalls gerieft sind, so daß diese harnischartigen Riefungen als Leitbahnen der Diffusionslösungen dienen konnten. Diese Riefungen, beim Bruch des Mergels durch Scherspannungen entstanden, sind vom tektonischen Beanspruchungsplan und den Gefügespannungen des Mergels abhängig zu denken, wobei die Riefungen der einander entsprechenden Kluftflächen weitgehend ineinander passen. Darauf hat zuerst F. H. Morawietz (1958) hingewiesen, der sie aber irriger Weise als Zerrisse aufgefaßt hat. Die erwähnte, nachträgliche tektonische Beanspruchung an den Schwächestellen mußte zu Sekundärspannungen an diesen Riefungen führen, was fallweise zur Ablösung der Kluftkalzite von deren Kluftflächen führte, womit die genannten Leitungsbahnen für die Diffusion III. Art entstehen konnten (Abb. 31). Die auffallende Anordnung der Eisenabscheidungen auf einer, jeweils bestimmten Seitenlage der Mergel-Kalzitkontakte der verkitteten Zugrisse im Handstück (Abb. 20) ist auf die gefügeabhängige Verteilung der tektonischen Spannung zurückzuführen. Die Verteilung der sekundär entstandenen Lösungsbahnen an der Mergel-Kalzitgrenze zeigt, daß bei dem hierfür nötigen Wiederaufleben der Bewegungen durch spätere tektonische Beanspruchungen entlang der vorgebildeten Keilschollen nicht so sehr Zug-, sondern Schervorgänge gewirkt haben. Hierbei beeinflußte die Kalziumkarbonatfüllung des ursprünglichen Risses die Druckverteilung der Keilschollen ähnlich

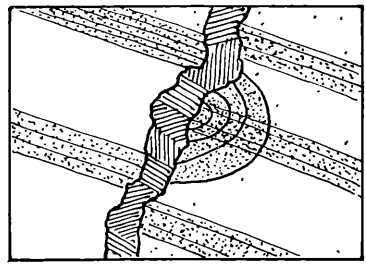
©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wie an einer Gleitschicht und führte zu vereinzelten Ablösungen des Mergels vom Kluftkalzit, und zwar in der der Druckrichtung zunächstliegenden Mergel-Kalziumkarbonatgrenze (Abb. 22).

Bei der Analyse der Eisenabscheidungen im Ruinenmergel fällt auf, daß sowohl die tektonischen Einwirkungen als auch die an Verwitterungsvorgänge gebundenen Bewegungen der Eisenlösungen in bestimmten zeitlichen Abfolgen miteinander verknüpft sind. Damit wird die relative Seltenheit der Ruinenmergel im Vergleich mit der relativ großen Verbreitung der diesen entsprechenden Mergelgesteinsvorkommen ohne diese charakteristischen rhythmischen Zeichnungen bedeutsam. Die Seltenheit des Vorkommens typischer Ruinenmergel, deren charakteristisches Merkmal durch geologische Faktoren größerer regionaler Verbreitung bestimmt werden, weist darauf hin, daß es sich bei diesen Vorkommen um Erosionsreste handeln muß. Die erste tektonische Beanspruchung des Ruinenmergels und die dadurch bedingten chemischen Veränderungen der Gesteine ist zunächst ohne Einfluß der Verwitterungsvorgänge erfolgt. Die Ausbreitung der Ver-



a



b

Abb. 22. Diese Darstellung verdeutlicht die in Abb. 21 beobachteten Diffusionshöfe entlang der Grenze von Kluftkalzit und Mergel, die einer nachträglichen Diffusionsphase zuzuschreiben sind. Abb. 22a entspricht dem Erscheinungsbild und Abb. 22b stellt den schematischen Mikrobereich dar. Von den nachträglich entstandenen Rissen zwischen den Kalzitlamellen (Schraffur) und dem Mergel haben sich Bewegungsbahnen von besonders konzentrierten Diffusionslösungen entlang der Rillen des Gleitungsbruches gebildet. Diese Lösungen sind in den durch den Riß geöffneten Mergel eindiffundiert und in sehr dichten Fällungsbereichen mit sehr kleinen Wanderungsradien abgelagert worden. Die Abb. 22a zeigt eine weitere Eigenheit dieser Diffusion, nämlich ihre einseitige Anordnung zu einer bestimmten Kluftfläche des „Keilschollensystems".

witterungsvorgänge, die für die weitere Bildung von Eisenlösungen und deren Eindringen in die Kluftsysteme Voraussetzung ist, stellt einen Vorgang dar, der von der Tektonik, der Erosion sowie der paläoklimatischen und den geomorphologischen Bedingungen abhängig ist. Die rhythmischen Zeichnungen des Ruinenmergels, welche durch eindringende Verwitterungslösungen bedingt sind,

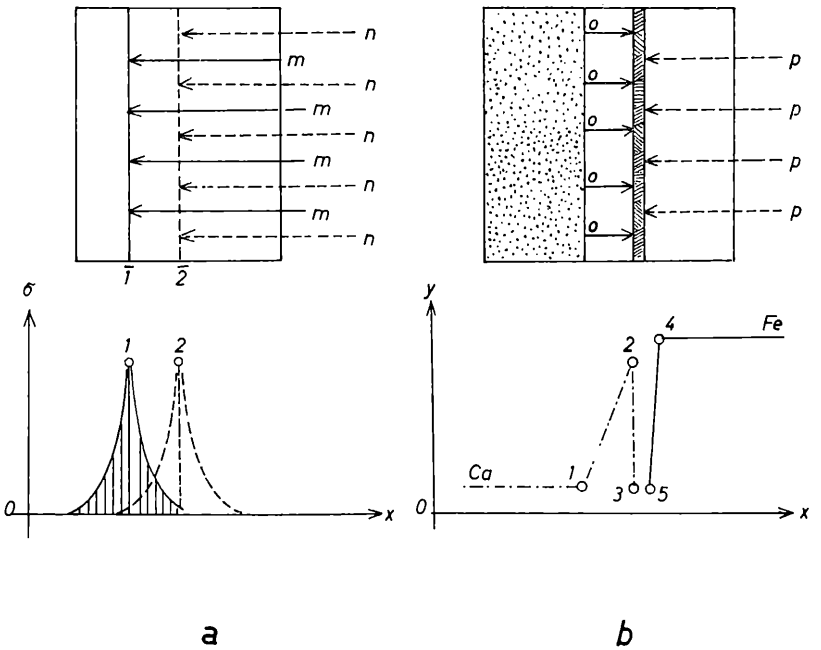


Abb. 23. Das Diagramm der Abb. 23a stellt die zu erwartenden Spannungsveränderungen an Konkretionen dar (sobald kolloidale Abscheidungen die Porenräume des Mergels erfüllten und daraus kleine Konkretionen entstanden sind). Durch das Wachstum der Abscheidungen aus den älteren Diffusionen (m) infolge weiterer Anlagerungen aus den nachfolgenden Diffusionen (n) verschiebt sich die Spannungsspitze von (1) nach (2). Die Abb. 23b zeigt den dabei zu erwartenden Drucklösungsvorgang an den umgebenden Kalzitkörnern des Mergels. Dementsprechend muß damit gerechnet werden, daß solche Lösungen unter den Druckwirkungen der kolloidalen Abscheidungen mobilisiert wurden, in die druckfreien Porenräume abgewandert und dort abgeschieden (1—3) worden sind. Die Konzentrationen der Kalziumlösungen (Ca) sind durch die Ordinaten 1, 2 und 3 angedeutet. Dem weiteren Eindringen von Eisen-Diffusionslösungen (p) wurde damit eine Sperr- bzw. Reaktionszone vorgeschoben, an der es zu neuerlichen Fällungen und Anlagerungen kommen mußte (die Fe-Lösung diffundiert hierbei, dem Konzentrationsgefälle entsprechend (4—5), zur Kalkanreicherung).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

haben somit ein bestimmtes Relief der Flyschzone zur Voraussetzung, so daß in den bestehenden Kluftsystemen entsprechende Lösungswanderungen stattfinden konnten. Der Umfang des Geländeabtrages und der chemischen Verwitterung sind damit die weiteren, wichtigen Faktoren, welche bei der geologischen Analyse des Ruinenmergels zu beachten sind. Nachträgliche tektonisch bedingte Hebungen des Reliefs oder intensivere Geländeerosionen mögen die ursprüngliche, regionale Verbreitung der Mergel auf wenige Restvorkommen eingeschränkt haben. Diesen Zusammenhängen entsprechend, muß auf eine zeitlich bedingte Abfolge paläogeographischer Situationen geschlossen werden, die für die Zeichnungen und das Vorkommen des Ruinenmergels bestimmend gewesen sind. Die Zeichnung des Mergels setzt demnach die beginnende Zertalung des Flyschreliefs und die intensive chemische bzw. warmzeitliche Verwitterung voraus, die nach der Flyschfaltung im Tertiär stattgefunden hat.

Ein Parallelfall zu diesen für die Ruinenmergel nötigen Verwitterungsvorgängen kann an den ebenfalls seltenen Bohnerzbildungen und Reliktböden der Kalkhochplateaus (z. B. Rax, Schneeberg, Dachstein) beobachtet werden. Diese Bohnerzbildungen bzw. Reliktböden sollen nun zum Vergleich mit den Ruinenmergeln herangezogen werden. Für die Analysen dieser Vorkommen betrachten wir zunächst die jeweiligen paläoklimatischen Gegebenheiten und ihre Einflüsse auf die Verwitterung bzw. auf die jeweiligen bodenbildenden Bedingungen. Auslaugungen der Kalziumkarbonate sowie deren Abwanderungen nach der Tiefe und deren Abscheidungen in Form von Konkretionen finden bereits unter humiden Klimabedingungen statt. Die Eisen- und Kalziumverbindungen werden vor allem unter borealen Klimabedingungen in Bewegung kommen, wobei unter tropisch feuchten Bedingungen bereits auch die Kieselsäure in größeren Mengen in Lösung geht und ausgewaschen wird (subtropisch-podsolige Böden). Diese Lösungen wandern im Bodenprofil nach unten und kommen dort z. T. als Konkretion zur Abscheidung. Unter ariden Klimabedingungen werden die Bodensalze an der Oberfläche abgeschieden bzw. angereichert, wobei die Kieselsäure abwandern kann. Auf diese Weise können tropische Roterden entstehen, welche reich an Aluminium- und Eisenverbindungen, jedoch kieselsäurearm sind. Die Eisenverbindungen sind hierbei bereits geflockt und behalten keine beweglichen Eisenanteile, da sie in Form von Eisengelen festgelegt sind. Die tropischen und subtropischen Rot-Gelb- und Braunlehme sind dagegen kieselsäurereich. Die Eisenhydroxydkolloide werden dabei von den wasserhaltigen

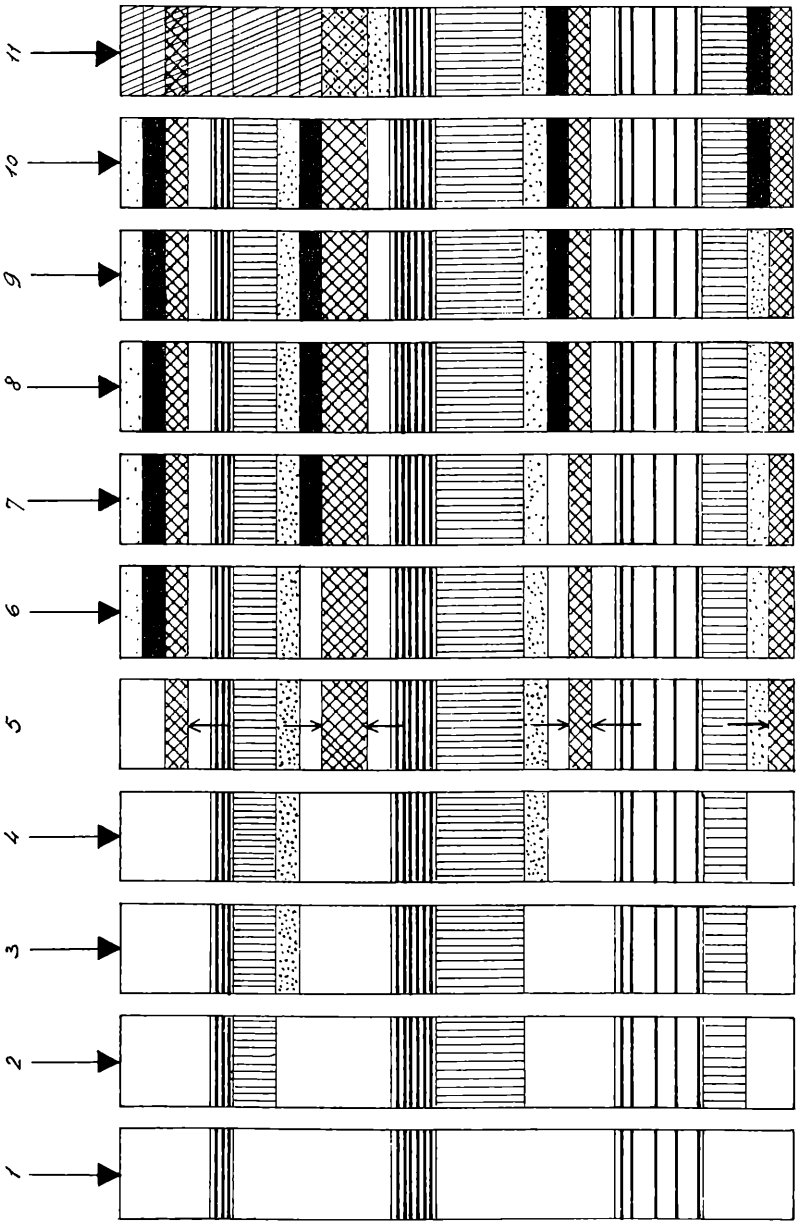
Kieselsäure-Kolloiden vor der Ausflockung geschützt und bleiben wanderungsfähig. Aus dem sehr wanderungsfähigen Eisenhydroxyd-Sol können sich jederzeit Eisengele und daraus Konkretionen bilden. Solche Eisenausscheidungen, z. B. die Bohnerze der Kalkplateaus, wachsen hierbei durch Eisendiffusionen im feuchten, dichten Gefüge des lehmigen Bodens (siehe unten).

Die Eisenhydroxyde können infolge ihrer verschiedenartigen Wassergehalte (die von der Temperatur abhängig sind und den Farbton z. T. bestimmen) z. T. als Klimazeugen verwendet werden. Sind solche Verbindungen in die wasserärmere, rötlichere Verbindung umgewandelt worden, so sind diese dann auch unter einem nachfolgenden feuchteren Milieu bestandsfähig. So konnten in Europa tertiäre, subtropische Rotlehme erhalten bleiben, obwohl sich heute nur die mitteleuropäischen Braunerden bilden könnten.

Von Vorgängen der oberflächennahen Verwitterung bzw. Bodenbildung hängt der Lösungsnachschub für das in den Klüften des Untergrundes zirkulierende Wasser ab. Die tief in das Kluftsystem des Gebirges eindringende Eisenlösung der Oberflächenverwitterung sind somit nur in borealen sowie subtropischen Klimabereichen und dem tropischen Regenwalde zu erwarten (ergänzend sind neben diesen Vorgängen auch jene Verwitterungsvorgänge zu beachten, die sich von den wasserführenden Klüften aus gegen die Kerne der Kluftkörper zu abspielen und infolge der Aufnahme von Kohlensäure und Sauerstoff durch das Sickerwasser bedingt werden). In trockenen (warmen und kalten) Zeiten dagegen sind solche Lösungswanderungen nicht zu erwarten.

Die paläoklimatisch bedingten Veränderungen seit der letzten alpinen Faltungsphase und der beginnenden Erosion der Flyschzone folgen auf das tropisch-subtropische Klima des Eozän. Im Miozän herrschte weiterhin noch subtropisches Klima und erst im Pliozän lassen die Eichen-Kastanien-Bestände im westlichen Randbereich des Wiener Beckens (A. Papp) auf ein warmes semihumides, später warmes, semiarides Klima schließen. Im darauffolgenden Quartär überwiegen die Trocken- und Kaltzeiten der Vereisungsperioden, die mit den humiden bzw. z. T. borealen Zwischeneiszeiten und der Nacheiszeit abwechseln. Die Bildung und die Wanderung eisenreicher Lösungen im Bereich der Flyschzone ist demnach auf das subtropische Klima des Miozäns zurückzuführen, einer Zeit intensiver Gesteinszersetzung und z. T. auch Auslaugung, wo bei relativ gleichbleibender Bodenwärme und Bodenfeuchte extrem tiefgreifende Verwitterungen möglich waren (15—20 m). Dieses Klima ist nicht nur für die Verwitterung und die dadurch entstandenen Eisenlösungen maßgebend gewesen,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at



sondern auch für deren Wanderung im Kluftsystem des Gebirges. Hierzu müssen ausreichende Mengen an Kieselsäure als Schutzkolloide (bzw. für die Peptisation der Eisenverbindungen) gebildet worden sein, was außer den tropischen Klimabedingungen auch die Verwitterung entsprechend kieselsäurereicher Gesteine voraussetzt, wie dies gerade für die Flyschzone zutrifft. Die streifenförmige Färbung der Ruinenmergel setzt eine ausreichende Bildung von weiträumig wanderungsfähigen Eisenhydroxydsolen voraus, was nur unter tropisch-subtropischen Klimabedingungen zu erwarten ist. Solche Bedingungen sind demnach für den Alpenrand, besonders für die Erosions- und Verwitterungsfortschritte in der Flyschzone, zur Zeit des Miozäns gegeben. Das in Form von seltenen Relikten auftretende Vorkommen des Ruinenmergels bestätigt diese Überlegungen. Demnach sind diese Vorkommen des Ruinenmergels als Erosionsrest der miozänen Verwitterung aufzufassen. Die Rhythmik der Färbung ist hierbei in erster Linie auf den kolloidchemischen Vorgang des Fällungsablaufes zurückzuführen, soweit nicht auch direkte klimatische und felshydraulische Faktoren eingewirkt haben.

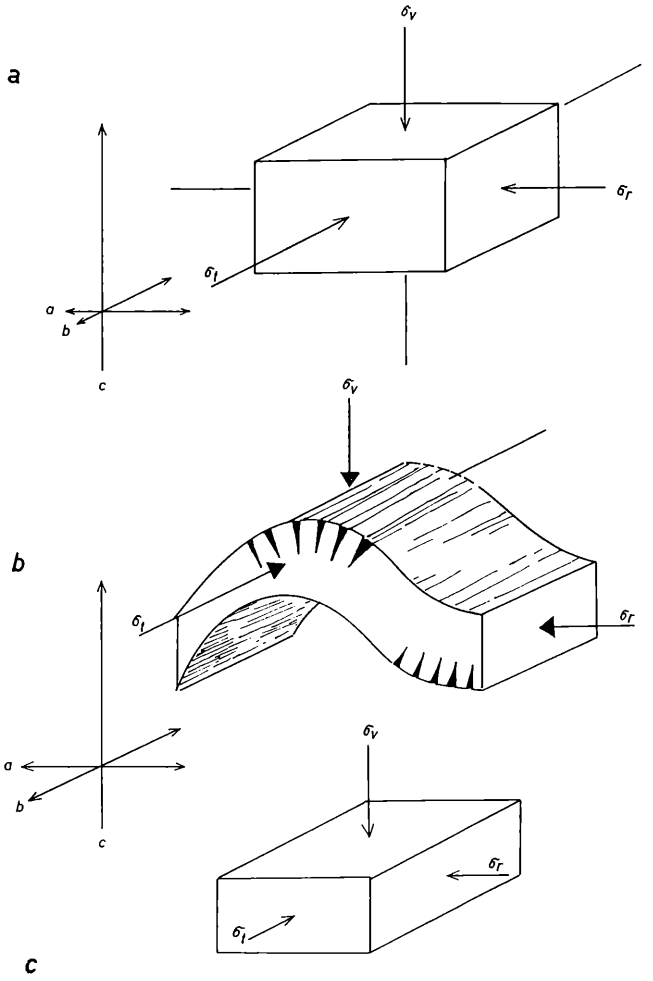
Die den Färbungen des Ruinenmergels nachfolgenden randlichen Bleichungszonen, die — wie bereits erwähnt — auch an niederösterreichischen Granuliten beobachtet werden konnten, lassen auf podsolartige Vorgänge im Kluftsystem bei mangelndem Nachschub an Eisenlösungen und vermutlich verstärkter Zufuhr

---

Abb. 24. In den Phasen 1—11 dieser Abbildung wurden die typischen möglichen Fällungsarten und die Rhythmenbildung des Ruinenmergels theoretisch dargestellt. Die Rhythmenanalyse der Fällungsstreifen des Ruinenmarmors verlockt, diese als Abbildung des Klimageschehens allein aufzufassen. Es hat sich aber gezeigt, daß verschiedene, paläogeographisch bedingte, exogene Faktoren mit kolloidchemischen bzw. gesteinskundlichen Wirkungen einen rhythmischen Zeitablauf aufweisen und sich überlagern können, so daß eine Analyse außerordentlich schwierig ist. Die Phase 1 stellt die Verteilung und Dichte der Fällungsrhythmen in Abhängigkeit von chemischen Fällungsmilieu der Poren, ähnlich wie bei den LISEGANGschen Ringen dar (die Pfeile deuten die eindringende Diffusionslösung an). Die Phase 2 zeigt das Weiterwandern des Fällungsstreifens, sobald für den Diffusionsnachschub durch Lösungsvorgänge entsprechende Bahnen geschaffen wurden und damit die Voraussetzung zu weiteren Fällungen. Die Phasen 3 und 4 zeigen die Umlagerungen durch Peptisation bereits gefällter Eisenlösungen. Die Phase 5 stellt die Bildung von kalziumreichen Zonen durch Drucklösung dar, die auf den vermutlichen Konkretionsdruck um die kolloidalen Abscheidungszentren der Fällungsstreifen zurückzuführen sind (Kreuzschraffen). Die Wanderungen und das Eindringen weiterer Eisenlösungen wird damit (schwarze Felder) beschränkt (Phasen 6—10), die dadurch gebildeten Sperrschichten können dann durch Veränderungen der Porenlösungen wieder abgebaut werden. Die Phase 11 stellt den Abbau und die Verlagerung der Eisenabscheidungen durch die peptisierende Wirkung der Kieselsäure dar (schräge Schraffen).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

an peptisierender Kieselsäure schließen. In zeitlicher Hinsicht ist dieser Vorgang vermutlich auf die feuchten, warmzeitlichen Klimabedingungen (tropische Podsolierung) an der Miozängrenze vor der pliozänen Trockenperiode zurückzuführen. Im Pliozän und in den Kaltzeiten des Quartärs sind die Eisenwanderungen weitgehend unterbrochen worden. In den Zwischeneiszeiten dagegen und vor allem im Postglazial müssen unter den vorherrschend borealen Klimabedingungen in relativ geringerem Ausmaße wiederum Eisenabwanderungen stattgefunden haben.



Die jüngsten Abscheidungen in offenen Spalten bzw. Rissen der Ruinenmergel sind Manganverbindungen (siehe Abb. 2), deren Entstehung und Wanderung den Verwitterungsvorgängen des postglazialen bzw. borealen Klimas zuzuschreiben sind.

Die Schlußfolgerungen aus den bisherigen Beobachtungen und Überlegungen auf den tertiären Ursprung der streifenförmigen Zeichnung des Ruinenmergels lassen sich durch weitere Betrachtung der tertiären Reliktböden in den nördlichen Kalkhochalpen (Raxplateau, Schneeberg, Dachstein) bestätigen. So wurden auf dem Dachstein (V. JANIK, J. SCHADLER, H. SCHILLER) rotbraune Lehme in Form von Relikten in alten inaktiven sowie höher gelegenen Karrenrinnen nachgewiesen und als Bodenbildungen eines warmen Klimas erkannt. Auffallend ist die hohe Dispersion der etwas reichlicher vorkommenden Braunlehme mit den Werten nach H. SCHILLER von 14,4 gegenüber einer geringen Dispersion von nur 0,6 der Rotlehme, was die unten erwähnten Bodeneigenschaften warmer Klimate bestätigt. W. KUBIENA hat nämlich darauf hingewiesen, daß die Reste tertiären, subtropischen Rotlehmes in Europa unter den heutigen Bedingungen der Braunerdebildung wohl erhalten geblieben sind, sich aber etwas verändert haben, wobei die Kieselsäuregele gealtert sind und die Dispersität abgemindert wurde, wie dies sonst für die Roterden zu erwarten wäre. J. FINK weist ebenfalls auf diese typischen Reliktböden hin, die sich auf flachen Reliefteilen der Kalkalpen erhalten haben. Sie werden auf parautochtone Zusammenschwemmungen von Kalkrückstandsböden über längere Zeiträume hin zurückgeführt. Hierbei muß auch der Anteil an Verwitterungsprodukten sandig-toniger Gesteine der alpinen Schichtenfolge und kristall. Schiefer berücksichtigt werden, so daß eine Analyse schwierig sein kann. Für die Rotlehme und Terra-

---

Abb. 25. Die schematische Darstellung zeigt die Beanspruchung des Mergels in den verschiedenen tektonischen Phasen. Abb. 25a zeigt die durch den Nordschub der Alpen (Richtung a) in den ungefalteten Mergelschichten des Flyschvorlandes bedingten Lagen der primären Hauptspannungen ($\sigma_V = \sigma_1$, $\sigma_t = \sigma_2$, $\sigma_r = \sigma_3$) — T_1 der Tabelle 2. Die Hauptspannung σ_r wird durch den Alpenschub bedingt, σ_V durch die Überlagerung und σ_t durch die seitliche Einspannung des Mergels in den Flyschverband. Nach Überschreitung der elastischen Verformung der Gesteine im Zuge der weiteren Faltungsvorgänge wurden Störungsflächen (Quer- und Längsstörungen) und Falten strukturen (horizontale b-Achsen senkrecht zur Schubrichtung) gebildet (25b). In Abhängigkeit dieser Strukturen erfolgte durch die weiter wirkende tektonische Hauptspannung $\sigma_r = \sigma_1$ die Zerlegung des Gebirges in Kluftkörper (Abb. 25c), wobei die zunächst gebildeten Teilbereiche der geologischen Struktur durch die Hauptspannungen $\sigma_r > \sigma_t > \sigma_V$ bis zum Bruch beansprucht wurden (T_2 der Tabelle 2).
σ_m (m = v, t, r) geolog. Indizierung der Hauptspannungen
σ_n (n = 0, 1, 2, 3 . . .) Indizierung der Hauptspannungsrelationen geolog. Systeme.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

rossa-Reste nimmt J. FINK ein höheres Alter an als für die Braunlehme. Der Braunlehm überlagert hierbei z. T. den Rotlehm. Bei diesen Untersuchungen über die tertiären Reliktböden des Raxplateaus müssen Verwechslungen mit jenen rotgefärbten Gesteinen und Kluftfüllungen vermieden werden, die vermutlich älter als tertiären Ursprungs sind (z. T. rote, vermutliche Gosaueinschaltungen und deren Umlagerungen bzw. Verwitterungsprodukte sowie allfällige Einschaltungen von Liassedimenten). Die Braunlehmrelikte der pliozänen Raxlandschaft enthalten Augensteinschotter (Quarzkieskörner), die als fluviatile Umlagerungen aus einer Zeit aufgefaßt werden, als das Raxplateau noch zu einem großräumigen Entwässerungssystem der miozänen Flußlandschaft gehörte. In diesen Braunlehmen haben sich Bohnerze gebildet, die nun gemeinsam mit den Augensteinen gefunden werden. An den Formen der Bohnerzkörner und den stellenweise beobachteten harnischartigen Riefungen an diesen Erzkörpern, welche infolge der Wachstumsspannungen des Bohnerzes gegenüber den umgebenden Braunlehm entstanden sind, läßt sich die sekundäre Bildung dieser Erze im umgelagerten Braunlehm erkennen. Diese Bohnerze wurden vom Verfasser bis zu einem Durchmesser von 50 mm nachgewiesen. Die Bildung solcher Eisenhydroxyd-Konkretionen setzt ein Klima voraus, in dem eine intensive Verwitterung herrschte, wobei aber die Eisenverbindungen hier nur in geringem Maße abgewandert sind. Wie oben erwähnt, finden sich neben den Braunlehmen der Rax auch Relikte von Rotlehmen. Während aber die Eisensalze in den Braunlehmen später mehr oder weniger fixiert worden sind (siehe Bohnerzbildung), zeigen die Tone und Eisenminerale der älteren Rotlehme ihre hohe Wanderungsfähigkeit bis in tiefere Teile des tektonischen Kluftsystems der Wettersteinkalke. Außer den rezenten Einschwemmungen finden wir dadurch eine intensive Rotfärbung in den Spalten und Klüften des Wettersteinkalkes der Rax. Solche rote Kluftfüllungen sind durch spätere, vermutlich nacheiszeitliche Kalksinter z. T. konserviert worden. So wurden an Schuttstücken des Wettersteinkalkes der Rax rötlichbraune und ziegelrote Kalksinterkrusten beobachtet. Manche der roten Spaltenfüllungen zeigen z. T. auch Einwirkungen nachträglicher tektonischer Abläufe. Es wurden auch rote Kluftfüllungen beobachtet, die von jüngeren braunen Krustenbildungen bedeckt sind. Auf vermutlich zwischeneiszeitliche und alluviale bzw. rezente Verwitterungen des Raxplateaus sind die gelblichen Verfärbungen von Kluftflächen mit Eisenoxydhydraten zurückzuführen. In Schuttablagerungen wurden fallweise auch weiße, vermutlich nacheiszeitliche Krusten und weißgefärbte Flächen an den Schuttstücken gefunden.

Auf dem Plateau des Schneeberges hat H. HÄUSLER (1936) eine ockerfarbige bohnerzführende Breccie nachgewiesen, deren Komponenten etwas abgerollt sind. Sie ähnelt den Breccien von der Preinerwand (Raxplateau) und ist vermutlich pliozänen Alters (nachpliozäner Verkittung). In dieser Zeit herrschte im Wiener Becken bereits ein trockenes, steppenartiges Klima, wodurch das

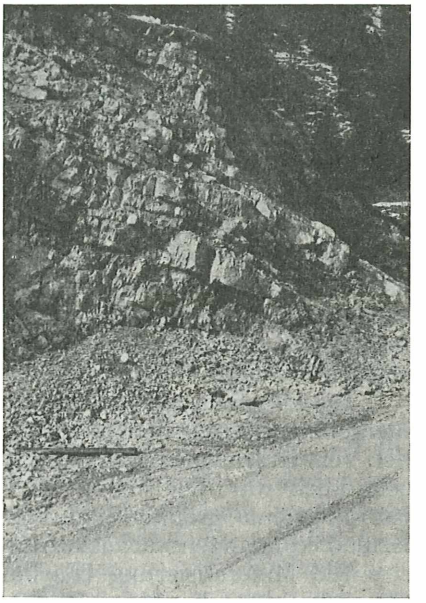


Abb. 26. Aufschluß im Hauptdolomit in Sulzbichel westlich von Puchenstuben (N.Ö.). Die Dolomitbänke sind in kleine spitzkeilförmige Kluftkörper zerpreßt worden, die mehr oder weniger senkrecht zur Bankungsfläche stehen, auf denen in der Natur Gleitungsspuren zu erkennen sind. Die bereits vorhandenen Bankungsfugen dienten bei der tektonischen Beanspruchung als Gleitebenen, wobei die Gleitungsbeträge z. T. nur sehr klein waren. Um die Spuren von Gleitungsvorgängen, das sind z. B. Harnischriefungen und Glanzstellen der Gesteinsoberfläche, zu erzeugen, genügen unter Umständen Gleitungswege, die gleich oder nur wenig größer sind als der mittlere Durchmesser der das Gestein aufbauenden Mineralkomponenten. Die Feinklüftung (jüngere geologische Struktur) ist hier deutlich von der Lage der Bankungsfugen (der älteren geologischen Struktur) abhängig.

Kalziumkarbonat der Verwitterungshülle nicht mehr in dem Maße entzogen werden konnte, als dies unter den vorhergehenden feuchtwarmen Klimaten der Rot- und Braunerdebildung der Fall war.

Die Bohnerze und die tief in das Kalkmassiv des Raxplateaus eingedrungenen roten Eisenverbindungen und die Tone der Braun- und Rotlehmbildungen sind somit auf das tropische bzw. subtropische Tertiärklima vor dem Pliozän zurückzuführen. In den Eichenwäldern des Pliozäns konnten die Eisensalze nicht mehr weit transportiert worden sein. Mit der Eiszeit sind dann wiederum Eisenumlagerungen im Zuge der borealen Podsolierung in geringerem Maße zu erwarten.

Der wesentliche Umsatz an Eisensalzen der Verwitterungshülle der Kalkalpen (Raxplateau, Schneeberg, Dachstein) ist somit seit

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

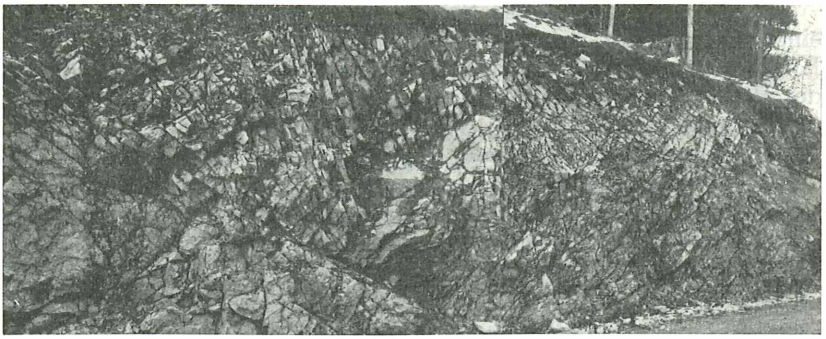


Abb. 27. Aufschluß im Hauptdolomit von Sulzbichel westlich von Puchenstuben (N.Ö.). Unter den Klüften des vorwiegend massig ausgebildeten Hauptdolomites sind großflächige Hauptklüfte zu erkennen, welche die Geometrie des feinmaschigen Netzes der Kleinklüfte beeinflußt bzw. bedingt haben.

der letzten Alpenfaltung auf das tropisch-subtropische Klima der Miozänzeit zurückzuführen, so daß die Eisenabscheidungen dieser Zeit heute nur mehr in Erosionsresten und Klüften nachgewiesen werden können.

Die ebenfalls nur mehr in Reliktform vorkommenden Ruinenmergel müssen, wie bereits erwähnt, zu einer Zeit mit Eisenlösungen der Verwitterungshülle getränkt worden sein, als der Eisenumsatz sehr hoch war. Die kennzeichnende Färbung des Ruinenmergels ist daher mit größter Wahrscheinlichkeit ebenfalls auf miozäne Klimabedingungen zurückzuführen.

Die Mineralisierung (Färbung) des Ruinenmergels ist somit einerseits der miozänen Verwitterung zuzuschreiben, anderseits aber auch der tertiären Erosion bzw. Morphologie zu verdanken, wodurch eine intensivere Zirkulation der Lösungen im Kluftsystem der Flyschzone geschaffen wurde, als dies vor der Ausformung der Landoberfläche der Fall sein konnte. Durch den nachfolgenden Geländeabtrag muß die Färbungszone der Flyschmergel mit dem Ruinenmergel weitgehendst zerstört worden sein, wodurch sich das reliktartige Vorkommen des Ruinenmergels erklärt.

5. Die tektonische Verformung

Die tektonisch bedingten Verformungen, die an verschiedenen Proben des Ruinenmergels beobachtet worden sind, lassen auf eine jeweils gleichförmige regionaltektonische Beanspruchung schließen. Es ließen sich hierbei mehrere, zeitlich aufeinander-

folgende tektonische Beanspruchungsphasen (T_0—T_6 der Tabelle 2) feststellen, die zu brechenden Verformungen der Mergel führten. Die hierbei aufgetretenen Gefügespannungen müssen durch das Sedimentationsgefüge wesentlich beeinflußt worden sein. Das Gefüge wurde zunächst durch die Form der Schicht- und Bankungsfugen, durch die Wechsellagerungen der Mergel mit dünnen Einschaltungen weicher, toniger Gesteine und durch die Feinstrukturen der Mergel bestimmt und ist später, durch die hinzukommenden geologischen Strukturen (Falten, Störungen) und Klüftungen wesentlich komplizierter geworden. Im Verlauf der mechanischen Beanspruchungen des Ruinenmergels haben sich daher nicht nur die auf den Mergel einwirkenden äußeren Kräfte des geologischen Geschehens verändert, sondern zusätzlich, durch die Gefügeänderungen bedingt, auch das System der inneren Kräfte bzw. Spannungen (Gefügespannungen). Die diesen Gefügespannungen entsprechende brechende Verformung der Mergel konnte jeweils neue Trennflächen bzw. Bruchflächen des Gesteines bewirken (Zerreißbrüche und Gleitungsbrüche), die von dem vorhergehenden Gefüge des Gesteinsraumes und des Gebirges abhängig waren (Abb. 25—31). Die Kluftlagen des älteren Systems haben bei weiterer Zerklüftung die Kluftlagen des jüngeren Systems weitestgehend beeinflußt (wie z. B. in Abb. 26. u. 27).

Die äußeren Kräfte wurden durch die Tektonik und durch das Gewicht der überlagernden Gebirgsmassen bedingt. Die tektonische Beanspruchung der Flyschzone mit den Ruinenmergel verursachte im Zuge der alpinen Gebirgsbildung geologische Primärstrukturen in Form von Falten, Schubbahnen und Brüchen. Der räumliche Beanspruchungsplan, der zu diesen Strukturen und deren örtlicher Verteilung geführt hat, wurde durch den Verlauf des Südrandes der Böhmischen Masse bedingt sowie durch den darauf senkrecht, in nördlicher Richtung wirkenden Schub der alpinen Faltung. Die Faltenachsen und Längsstörungen verlaufen dadurch in west-östlicher Richtung und die Querstörungen senkrecht dazu.

Im Sedimentationsraum der Flyschgesteine befanden sich die Ruinenmergel zunächst unter allseitigem (hydrostatischem) Druck (Phase T_0 der Tabelle 2). Im Zuge der Alpenfaltung (tektonische Phase T_1 der Tabelle 2) wurde diese Beanspruchung verändert, wobei sich eine Druckspannung in der alpinen Schubrichtung nach Norden ausgebildet hat (Radialspannung σ_r). Die vertikale Druckspannung (σ_v) der überlagernden Gebirgsmassen ist hierbei durch die Überschiebung und Schuppungen vergrößert worden. Unter diesen Bedingungen bewirkten die Hauptspannungen ($\sigma_r > \sigma_v$),

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

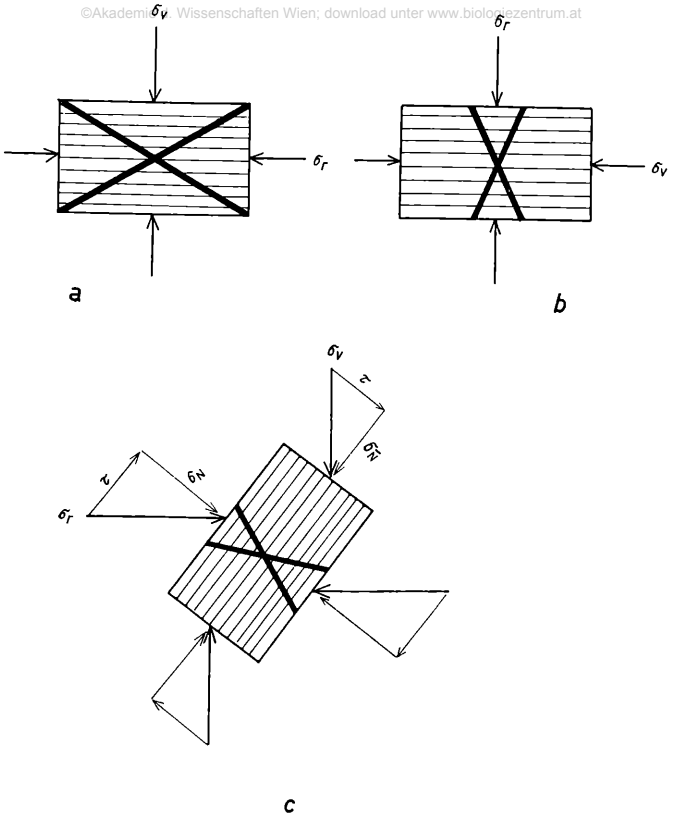


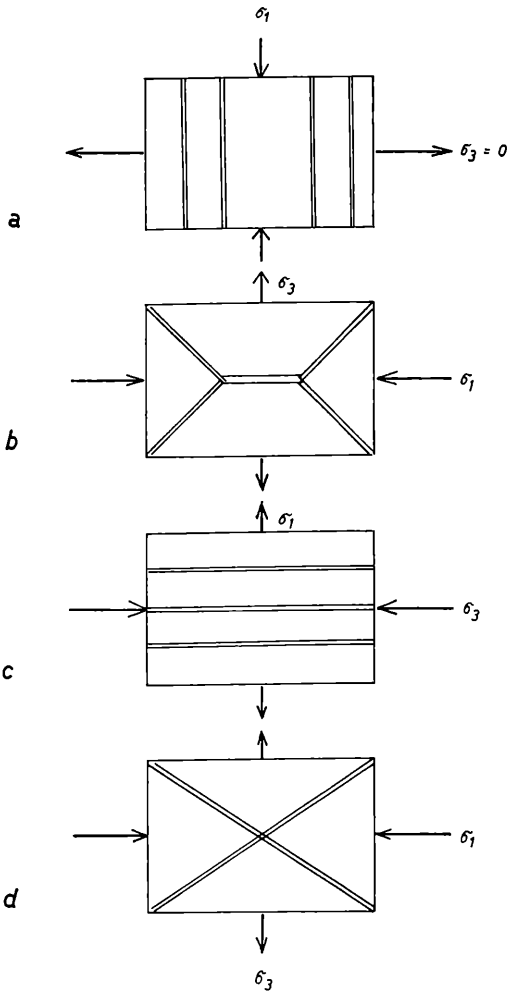
Abb. 28. Die schematische Darstellung zeigt einen geschichteten Gesteinsblock als Modell für einen Kluftkörper des Ruinenmergels, der durch weitere tektonische Verformungen in Keilschollen zerlegt worden ist. Abb. 28a zeigt die tektonisch bedingte Hauptspannung $\sigma_r = \sigma_1$ (Radialspannung) in der Schichtfläche angreifend. Dem hohen inneren Reibungswinkel des Mergels entsprechend führt die Drucksteigerung von σ_r zum Bruch, wobei die Bruchflächen spitzwinkelig zur größeren Hauptspannung angeordnet sind. Wirkt die größere Hauptspannung senkrecht auf die Schichtung, so werden Bruchflächen auftreten, die mit der Schichtung einen stumpfen Winkel bilden (Abb. 28b). Abb. 28c zeigt einen durch Faltung oder Schuppung schräggestellten Kluftkörper, der durch die tektonische Hauptspannung $\sigma_r = \sigma_1$ in Bruchflächen zerlegt wurde, die mit der Schichtung einen stumpfen Winkel bilden. Je nach der relativen Lage der Schichtung zur größeren Hauptspannung sind verschiedene Bruchwinkel zur Schichtfläche zu erwarten. σ_N = Richtung der Normalspannung, τ = Schubspannungsrichtung.

daß die geschichteten Gesteinsmassen im Bereich des räumlichen Spannungszustandes zu den ersten geologischen Strukturen (Brüchen, Schubflächen, Falten) verformt worden sind. Diese Verformungen erfolgten nicht nur nach den einfachen oben genannten Beanspruchungsplänen, sondern auch durch örtlich bedingte, komplizierte tektonische Bewegungsvorgänge (Abb. 25).

Nach Bildung dieser Primärstrukturen (T_1) mußten sich im Bereich des dreiachsigen Spannungszustandes in Abhängigkeit von diesen Strukturen und der Schichtung neue Bruchbedingungen ergeben (tektonische Phase T_2 der Tabelle 2). Darüber hinaus haben sich die Veränderungen (Zunahme) der Hauptspannungen ($\sigma_r > \sigma_v$) und die tektonisch bedingte Tangentialspannung (σ_t) ausgewirkt. Außer den großräumigen, bei Bildung der geologischen Primärstrukturen entstandenen Zug- und Scherklüften (Störungen) des Gebirges ist durch die weitere tektonische Beanspruchung eine intensive Zerlegung in die Kluftkörper erfolgt. Diese sind somit von den Primärstrukturen und von den mechanischen Eigenschaften des Mergels abhängig zu denken. Bei Entstehung der Kluftkörper müssen Gleitungsbrüche und Zerreißbrüche unterschieden werden. Gleitungsbrüche lassen sich unter Umständen an den charakteristischen Riefungen und Polituren der Bruchflächen, den sogenannten Harnischen erkennen. Solche Harnischflächen müssen aber keineswegs auf große Bewegungsdifferenzen zurückgeführt werden, wie dies manchmal den Anschein haben kann. Sie können bei entsprechend feinkörnigen Gesteinen auch durch Mikrobewegungen erzeugt werden, wenn der Verschiebungsbetrag (v) der Gebirgsformung nur etwas größer oder gleich ist dem mittleren Korndurchmesser (d) der das Gestein aufbauenden Teilchen ($v \geqq d$). Die Oberfläche der Zerreißbrüche wird von den Unebenheiten bzw. Rauhigkeiten bedingt, die vom Korngefüge des Gesteins abhängig sind. Die Raumstellung des Gleitungsbruches ist von den Schwächezonen bzw. den vorhandenen Trennflächen (z. B. Schichtflächen) abhängig, in denen Verschiebungen möglich sind. Der Gleitungsbruch kann davon auch unabhängig, als völlig neuer Bruch des Gesteins entstehen. Die Raumstellung dieser Bruchfläche ist dann vom Winkel der inneren Reibung des Gesteins abhängig, der sich aus dem Verhältnis der Normalspannung zur Schubspannung ergibt. Beim Zerreißbruch ist die Raumstellung der Trennfläche von der dazu lotrechten Richtung der geologisch negativen Spannung oder Zugrichtung abhängig oder von der Entlastungsrichtung des Gesteinsbereiches, der sich im räumlichen Spannungszustand befindet. Zerreißbrüche sind in der tektonischen Phase (T_2) auch dann zu vermuten, sobald eine der (positiven)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Hauptspannungen wesentlich größer (Querzug) oder kleiner (Entlastung) als die beiden anderen war. In den Schichtflächen kann es zu Gleitungsbrüchen bzw. zu geschmierten Gleitungen kommen und senkrecht dazu zu den Zerreißbrüchen bzw. zur Überlagerung beider Bruchformen. Diese Brüche sind, wie erwähnt, auch für den Fall zu erwarten, daß eine der positiven Hauptspannungen gegenüber den anderen so verringert wurde, daß Querzugspannun-



gen entstehen konnten. Dies war z. B. möglich, sobald die Überlagerungsspannung (σ_V) dem vertikalen Geländeabtrag entsprechend ermäßigt wurde oder als die Tangentialspannung (σ_t) des Gebirges durch Anlage und Ausräumung von Talkerben (nach den tektonischen und morphologischen Gegebenheiten) vermindert worden ist, so daß Entlastungsbrüche entstehen konnten („Rebounds" der anglo-amerikanischen Literatur, „Entspannungsklüfte" nach A. KIESLINGER). Die Lage dieser Klüfte könnte daher primär, durch eine von der Tektonik unabhängige Morphologie des Geländeabtrages bedingt sein. Solche Entlastungsbrüche sind aber auch parallel zu den tektonischen Trennflächen infolge der tektonischen Restspannungen zu erwarten, sobald die Erosion entlang der vorhandenen tektonischen Störungen und Klüfte entsprechende Fortschritte erzielen konnte. In diesem Falle bilden sich in Oberflächennähe der durch Klüfte bedingten Geländeform parallel zu diesen Klüften oder innerhalb der Störungen die dem Gelände konform verlaufenden neuen Klüfte als Entlastungsklüfte aus.

Die verschiedenen, für die Bruchbedingungen von Kluftkörpern der tektonischen Phasen T_2 bzw. T_4 (siehe unten) maßgebenden Raumstellungen der Hauptspannungen zu den Schichtflächen sowie zu den vorhandenen Störungen, Falten und der Geländeoberfläche ergeben sich wie folgt:

a) Ebene Schichtpakete, in denen die horizontale tektonische Radialspannung (σ_r) wirkt und die von der kleineren, ebenfalls horizontalen Tangential- (σ_t) und der Überlagerungsspannung (σ_V) beansprucht werden: die hierbei entstehenden Gleitungsbrüche und Querzugbrüche (Entlastungsbrüche) sind in spitzem Winkel zur Richtung der Radialspannung, d. h. spitzwinkelig zur Schichtfläche geneigt zu erwarten (Abb. 28a).

Abb. 29. Die verschiedenen Darstellungen lassen erkennen, daß Lage und Größe der Bruchwinkel zur Druckrichtung bei der Zerklüftung eines Mergelblockes nicht nur von der geologischen Situation des Bereiches abhängen müssen, in dem sich der Mergelblock befunden hat (siehe Abb. 28), sondern auch von den Materialeigenschaften und dem Spannungszustand. Beim dreiachsigen Spannungszustand kann der trockene Gesteinsblock wie in Abb. 29d in diagonale Klüfte zergleiten. Sind die Porenräume mit Wasser gefüllt, so sind diese Klüfte und Fugen parallel zur Richtung der größeren tekton. Hauptspannung σ_1 als Querzugrisse (Abb. 28a) zu erwarten (L. FÖPPL). In manchen Fällen sind gemischte Einflüsse wie in Abb. 29b möglich. Durch den Abbau des dreiachsigen Spannungszustandes (z. B. durch Erosion) treten Zug-Spannungen auf, die senkrecht zur ursprünglichen kleineren Hauptspannung wirken und Reißklüfte erzeugen können (Abb. 29c). Die Pfeile geben die Richtung der Verformung an.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

b) Schichtpakete, wie vorhin, die zur größeren Hauptspannungen geneigt oder senkrecht sind: die tektonische Radialspannung (σ_r) wirkt auf Schichtflächen ein, die sich mit dem Gelände verschneiden. Es können Gleitungs- und Zerreißbrüche (Querzug- bzw. Entlastungsbrüche) erwartet werden, die mit der Schichtfläche einen stumpfen Winkel einschließen (Abb. 28b, c). Die Kluftkörper des Flyschmergels und ihre Flächen sollten in Hinkunft auf die oben genannten Merkmale hin untersucht werden. Es wäre auch zu versuchen, den Beanspruchungsplan bzw. die Spannungsänderungen und die zeitliche Abfolge der Klüftung (vor allem bei kluftstatistischen Untersuchungen) zu ermitteln (siehe auch Abb. 29).

Die Zerlegung der Kluftkörper des Ruinenmergels in die für die charakteristische Verfärbung maßgebenden Keilschollen erfolgte bei weiterer tektonischer Beanspruchung — (tektonische Phase T_4 der Tabelle 2) — wiederum in Abhängigkeit von der Gestalt und räumlichen Lage der durch die tektonische Phase T_2 gebildeten Kluftkörper und den dadurch geänderten Spannungsbedingungen ($\sigma_r > \sigma_v > \sigma_t$). In diesem Falle (Abb. 30) wurden nicht mehr Gesteinsplatten großer Ausdehnungen beansprucht, sondern mehr oder weniger isometrische Kluftkörper den statisch (σ_v) und tektonisch (σ_r, σ_t) bedingten Spannungen des räumlichen Spannungszustandes ausgesetzt, wobei infolge Auflockerung $\sigma_v > \sigma_t$ anzusehen ist. Unter diesen Spannungsbedingungen sind die Bruchflächen der „Keilschollen" entgegen der irrigen Auffassung von F. H. MORAWIETZ (1958) nicht als Reißklüfte, sondern als Gleitungsbrüche anzusprechen. An einem Probestück des Ruinenmergels von Klosterneuburg konnte sogar die Harnischriefung dieser Flächen deutlich beobachtet werden (Abb. 20). Außerdem zeigt die Umrißlinie parallel zur Schichtfläche des Kluftkörpers von Lengfeld (Abb. 3a, b) Verformungen, die nur durch Gleitungen bzw. Gleitungsbrüche im Kluftkörper möglich geworden sind (siehe auch Abb. 6). Seine größere (tektonische) Hauptspannung ($\sigma_r = \sigma_1$) mußte dabei senkrecht zur b-Achse angreifen können. Bei schräggestellter Schicht wäre dieser Angriff in beliebiger Richtung der ac-Ebene denkbar, im anderen Falle horizontaler Lagerung, könnten die Kluftkörper in Richtung der a-Achse beansprucht worden sein (z. B. in flachliegenden Schichten bzw. in Faltenscheiteln). Bei Faltenstrukturen ist der erstgenannte Fall in den beiden steilstehenden Schenkeln, der andere in den Scheitelzonen zu erwarten. Somit ist die Lage der Kluftkörper zu den angreifenden tektonischen Spannungen sowie ihre Gestaltung für die Anlage des Keilschollennetzes maßgebend (siehe auch Abb. 28).

Außer den genannten tektonischen Phasen ist noch eine weitere, etwas ältere Verformungsart (tektonische Phase T_3 der Tabelle 2) festzustellen, die sich in Bruchflächen zeigt, welche mehr in diagonaler Richtung zu den Kluftkörpern verlaufen und seltener vorkommen, als dies bei den oben erwähnten Beispielen tektonischer Phasen (T_4) der Fall ist (Abb. 2, 20). In der Platte von Lengfeld bei Klosterneuburg (Abb. 2), in welcher Klüfte der Phase T_4 jene der Phase von T_3 schneiden, ist die Deformation des Kluftkörpers durch T_3 und die nachfolgende Zerlegung durch T_4 deutlich zu erkennen (Abb. 3). Die Unterschiede der kurz aufeinanderfolgenden tektonischen Phasen T_3 und T_4 sind wohl auf Lageänderungen der größeren Hauptspannung zum Kluftkörper zurückzuführen.

Die fünfte Phase tektonischer Beanspruchung (T_5) führte zu den erwähnten Störungen (Gleitungen) an den Kalzitlamellen der Keilschollen (Abb. 31), die zu den sporadischen, sekundären Verfärbungshöfen geführt haben (Lösungsphase L_5).

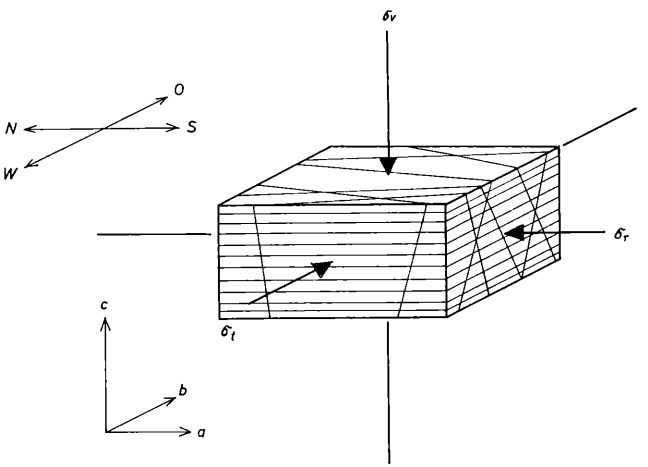


Abb. 30. Zerlegung eines Kluftkörpers aus Ruinenmergel durch die größere tektonische Hauptspannung $\sigma_r = \sigma_1$ (nordsüd gerichtete Radialspannung) in Keilschollen. Die oft lamellenförmige Zerlegung in Keilschollen ist unter Umständen auch auf die Mitwirkung wassergefüllter Porenräume bei der Druckbeanspruchung zurückzuführen (siehe Abb. 29b). Im wesentlichen handelt es sich um Zergleitungen des Mergels durch Verformung in die Keilschollen bzw. Lamellen der Darstellung. Die durch Zerlegung des Mergels in Kluftkörper (tektonische Phase T_2 der Tabelle 2) entstandenen Auflockerungen mußten zur Änderung der primären Hauptspannungsverteilung ($\sigma_r > \sigma_t > \sigma_v$) in den tekton. Phasen T_3 und T_4 führen, wobei nun $\sigma_r = \sigma_1$ parallel a, $\sigma_v = \sigma_2$ parallel c zu denken ist und $\sigma_t = \sigma_3$ parallel zu b ($\sigma_r > \sigma_v$, $\sigma_v > \sigma_t$).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Mikrokonkretionen (Abb. 32), die jeweils aus Eisenhydroxydpartikeln der Fällungsstreifen bestehen, müssen zumindest vorübergehende Veränderungen der Gefügespannungen bewirkt haben.

Die tektonische Phase T_6 soll jüngste, vermutlich durch Entlastung bedingte Risse umfassen (z. B. die manganhaltigen Risse).

Die zeitliche Abfolge der tektonischen Beanspruchungen T_1—T_6 hat sich mit Hilfe der Gestaltanalyse am Ruinenmergel sowie der Analyse der Lösungswanderungen rekonstruieren lassen und wurde in der Tabelle 2 dargestellt. Durch die Analyse der Gestaltveränderungen (Zerklüftung) des Ruinenmergels ließen sich auch Veränderungen der Gefügespannungen erkennen, da jede Gestaltänderung einer Spannungsänderung entsprechen muß und umgekehrt. Es wurde erkannt, daß tektonische Beanspruchungen, der Druck der Lösungen in den Poren und Klüften, die kolloidchemisch verursachten Spannungen in den Poren und die durch das Relief bedingten Spannungen und deren Änderungen für die Gefügespannungen des Ruinenmergels bestimmend gewesen sind.

6. Folgerungen

Die vorstehenden geologischen Analysen von Kluftkörpern österreichischer Ruinenmergel aus der Flyschzone sollen dazu beitragen, die Bildungsweise solcher Gesteine aufzuklären.

Es wurde die Bedeutung der Porenlösungen beleuchtet, die auf den chemisch-physikalischen Reaktionen im Gesteinsgefüge beruht. Diese Studie möge dazu anregen, bei Gesteinsuntersuchungen nicht nur das System der Festsubstanz zu behandeln, sondern auch das Verhalten der Gase und Flüssigkeiten in den Porenräumen zu berücksichtigen. Die Gesteinskörper sind somit hinsichtlich ihrer Entstehung und ihrer Verhaltensweise gegenüber der geologischen Dynamik grundsätzlich als ein Dreiphasensystem zu betrachten.

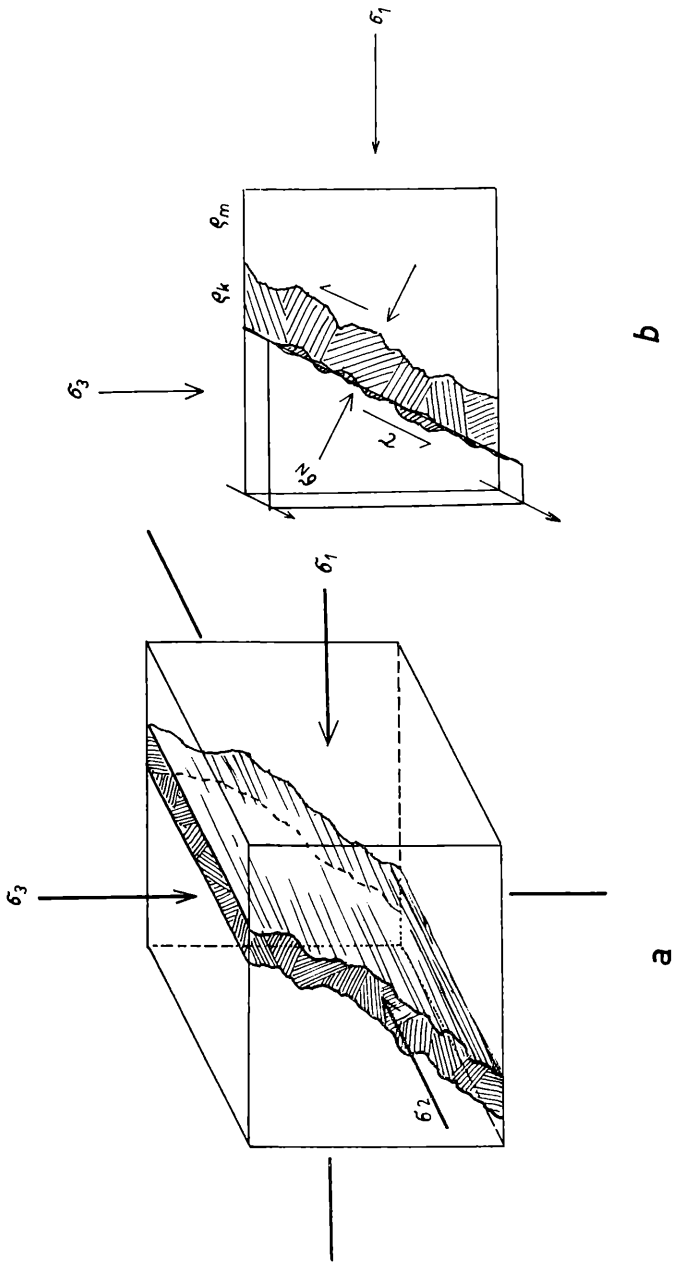
Die tektonische Analyse des Ruinenmergels hat einen mehrphasigen Verformungsablauf erkennen lassen und hat den Einfluß der Gestalt und Beanspruchungsart eines geologischen Körpers auf dessen mechanisches Verhalten aufgezeigt.

In methodischer Hinsicht stellt das untersuchte Probestück von Ruinenmarmor die Abbildung eines vierdimensionalen geologischen Bereiches auf den Anschauungsraum dar, wie uns dies in ähnlicher Weise durch Abbildung dreidimensionaler Gebilde mit Hilfe der Rißebenen als zweidimensionale Figuren geläufig ist (projektive Geometrie). Verschiedene Phasen der tektonischen

Verformung und der paläogeographischen Veränderungen wurden im Ruinenmergel durch die Reaktionen der Porenräume abgebildet. Solche Abbildungen geologischer Vorgänge im Erscheinungsbild des Ruinenmergels haben durch ihre besondere Deutlichkeit immer wieder zu Betrachtungen Anlaß gegeben und verschiedenartige Erklärungsversuche ausgelöst. Die bisherigen Auffassungen über den Ruinenmergel von F. TOULA (1900) bis A. KIESLINGER (1963) mußten z. T. wesentlichen Korrekturen unterzogen werden. Die Anordnung der charakteristischen Verfärbung wurde von F. TOULA (1900) in richtiger Weise auf eindringende Eisenhydroxydlösungen zurückgeführt. F. X. SCHAFFER (1922) hat an dieser Anschauung sinngemäß festgehalten, aber die unrichtige Meinung geäußert, daß diese Lösungen von den feinen Sprüngen des in die Keilschollen zerlegten Mergels aus in jeden einzelnen dieser kleinen Kluftkörper eingedrungen seien, und zwar unabhängig voneinander. Die Untersuchungen von F. H. MORAWIETZ (1958) an Ruinenmergeln aus Florenz und die vorliegenden Ergebnisse an Ruinenmergel der österreichischen Flyschzone haben gezeigt, daß die Färbungen wohl auf eindringende Lösungen zurückzuführen sind, daß sich diese aber nicht in den genannten Sprüngen des Mergels bewegt haben konnten, da sie erst nach der Kalzitverheilung dieser Risse in den Mergel eingedrungen sind. Richtig ist die Beobachtung, daß die einzelnen Keilschollen unabhängig voneinander gefärbt wurden. Die Beobachtung von F. X. SCHAFFER, daß sich die Eisenlösungen in konzentrischer Form eingelagert haben, entspricht den Tatsachen, daß sie aber die Mikroschichtung des Mergels abgebildet hätten, trifft nur bei den Ruinenmergeln aus Florenz zu (F. H. MORAWIETZ 1958), aber nicht für den österreichischen Ruinenmarmor der Flyschzone, den F. X. SCHAFFER bearbeitet hat (Ruinenmergel von Elixhausen). J. STINY (1929) stellte fest, daß die Färbung des Mergels nach dessen Bruch erfolgte, der darnach wiederum verfestigt worden sei. Die Färbung des Mergels entstand wohl nach dessen Bruch, aber erst nach der Verfestigung und nicht vorher, wie F. X. SCHAFFER und J. STINY angenommen haben. A. KIESLINGER (1951) hält an der Vorstellung von F. X. SCHAFFER fest, daß die Eisenlösungen, welche die charakteristischen Zeichnungen verursacht haben, in die Klüfte eingedrungen sind.

Nach B. M. SHAUB (1953) sind die charakteristischen eisenoxydreichen Bänder als primäre Schichtung des Gesteins aufzufassen, was für die österreichischen Ruinenmergel nicht zutrifft. 1958 stellte F. H. MORAWIETZ in dieser Hinsicht (wie oben erwähnt) fest, daß die Färbung nach der Kalzitverheilung der Keilschollen und unabhängig voneinander erfolgt ist. Hierbei

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at



wurden in den etwas grobkörnigeren Ausbildungen der Ruinenmergel aus Florenz entsprechende Strukturverfärbungen (Schichtung) beobachtet. Es konnten aber auch strukturunabhängige Verfärbungen beobachtet werden. Diese Feststellungen, daß die Lösungen nach der Verfestigung in den Mergel eingedrungen sind, konnten an den österreichischen Ruinenmergeln bestätigt werden. Die an den Ruinenmergeln von Florenz nachgewiesenen Strukturverfärbungen nach der Mikroschichtung sind an den homogeneren und feinkörnigeren Mergeln der österreichischen Flyschzone nur selten nachzuweisen. Die Färbungen konnten sowohl parallel als auch senkrecht zur Mikroschichtung der Mergel beobachtet werden.

In bezug auf die Ruinenmergel der Flyschzone von Salzburg erwähnt A. KIESLINGER (1963) wiederum im Sinne von F. X. SCHAFFER die feinen Verwerfungsfugen irrigerweise als Lösungsbahnen der Farbstoffe. Die Ausfärbung der Gefügeeigenschaften des österreichischen Ruinenmergels nach der Art anatomischer Präparate entspricht dabei ebenfalls der irrigen Auffassung von F. X. SCHAFFER, wobei die einzelnen Lagen des Mergels infolge ihrer verschiedenen Porosität den Farbstoff in verschieden starkem Maße aufgenommen haben sollen. Dem Hinweis von F. Xi SCHAFFER auf die konzentrischen Verfärbungen entsprechend, erwähnt A. KIESLINGER geringfügige Überlagerungen der Strukturverfärbungen durch Diffusionsrhythmen. Als neues Ergebnis in der Bearbeitung der Ruinenmergel stellt A. KIESLINGER (1963) fest, daß die porösen Lagen der Mergel im Verwitterungsbereich von sauerstoffreichem Wasser durchtränkt worden seien und es dadurch zur Oxydation der Eisenverbindungen in demselben gekommen sei, wobei die Umfärbung von grau nach gelbgrau erfolgte. Diese von A. KIESLINGER erwähnte strukturbedingte Verfärbung der Mergel ist nach den vorliegenden Untersuchungen nicht zutreffend, da die Hauptursache der charakteristischen Verfärbungen in rhythmischen Fällungen zu erkennen ist

---

Abb. 31. Das Raumbild der Abb. 31a soll das Abreißen der Kalzitfüllungen vom Mergel der „Keilschollen" entlang der Rillen des Gleitungsbruches darstellen. Abb. 31b veranschaulicht die einseitige Lage der mechanischen Beanspruchung bzw. der Verformungen an der Grenze von Mergel und Kalzit infolge der verschiedenen Reibungswinkel ($\varrho_K < \varrho_m$), wodurch Öffnungen entstanden sind, in denen Lösungen zirkulieren konnten, die zu den sekundären Diffusionshöfen geführt haben (siehe auch Abb. 22). Die einseitige Lage dieser Öffnungen innerhalb eines Kluftsystems von Keilschollen ist bemerkenswert und deutet auf einseitig gerichtete Druckspannungen in der Umgebung von parallel liegenden Scherflächen hin, wie dies bei der affinen Verformung von Kluftkörpern (affine Scherung) erfolgen kann (hier: $\sigma_3 > \sigma_1$).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Hinsichtlich der mechanischen Vorgänge, die sich im Ruinenmarmor abgebildet haben, hat die Auffassung von F. TOULA seit 1900 lange Zeit vorgeherrscht, nach der die Keilschollen des Mergels an „Verschiebungslinien" verstellt worden sind, wie dies an den Horsten und Gräben der Strukturgeologie zu beobachten ist. Diese Auffassung ist auf den unmittelbaren Eindruck der Handstücke zurückzuführen und hat sich in der vorliegenden Studie nur insofern als richtig erwiesen, als es sich bei diesen „Verschiebungslinien" um Abbildungen von Gleitungsbrüchen des Mergels handelt. Sie ist aber unrichtig in bezug auf die strukturgeologische Modellvorstellung, da sich die Verfärbung als ein sekundärer Vorgang erwiesen hat, der erst nach Verheilung der Gleitungsbrüche stattfand und größere Gleitungsbeträge bzw. Verstellungen vortäuscht als tatsächlich stattgefunden haben.

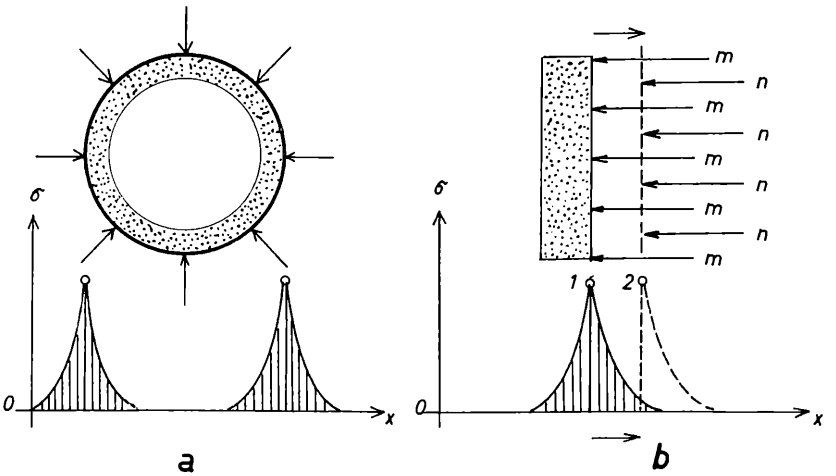


Abb. 32. Die Diagramme zeigen die Spannungsspitze am Außenrand einer wachsenden Konkretion (Querschnitt in Abb. 32a). Infolge Wachstums der Konkretionen werden die Spannungsspitzen durch die Zuwächse (n) verlagert (1 2) (Abb. 32b). Die durch Abscheidung von Feststoffen in den Porenräumen, besonders solcher von kolloidaler Art (Kieselsäuregel, Tonerde-, Eisengele und gelförmige Kalziumabscheidungen) bedingten Spannungen und deren Veränderungen stellen eine der bedeutenden Spannungsquellen feinkörniger Fest- und Lockergesteine dar, weil die kolloidal bedingten Volumskräfte sehr hoch sein können. Diese Spannungen konnten durch bruchlose und brechende Verformung an Gesteinskörpern beobachtet werden, sobald eine Achse des dreiachsigen Spannungszustandes abgebaut wurde (z. B. am Löß des Laaerberges, an Linzer Sanden).

A. KIESLINGER hat (1963) an der Vorstellung der Verwerfungsfugen ähnlich wie F. TOULA festgehalten.

Die Auffassung von B. M. SHAUB (1953), daß die Mergel durch Gleitungen zerlegt wurden, entspricht zunächst der alten Auffassung von F. TOULA, nur soll es sich hierbei um frühdiagenetisch gebildete Stylolithensäume handeln, die durch plastisches Fließen des unverfestigten Sediments entstanden seien, was für den typischen Ruinenmarmor der Flyschzone keineswegs zutrifft.

Die Feststellungen von F. H. MORAWIETZ (1958) haben ergeben, daß die „Keilschollen" durch Risse voneinander getrennt seien, an denen keinerlei Bewegung stattgefunden haben kann, so daß es sich also um postdiagenetische Zerrisse handelt. Diese Auffassung hat sich in vorliegender Studie als unrichtig herausgestellt, da die Risse eindeutige Gleitungsbrüche sind. Die Ursache dieser Fehlbeurteilung einer an sich völlig richtigen Beobachtung liegt darin, daß der Autor von den Merkmalen des ebenen Schnittes auf die räumlichen Gegebenheiten geschlossen hat. An Hand des ebenen Schnittes (d. h. ohne weitere bestimmende Merkmale) wäre eine Entscheidung über das Vorliegen von Gleitungsbrüchen oder Zerreißbrüchen nicht möglich. Dieses Beispiel eines methodischen Fehlers geologischer Bearbeitung läßt erkennen, daß die Beobachtungen geologischer Gegebenheiten in einer Schnittebene durch solche in weiteren Schnittebenen, also dreidimensional ergänzt werden müssen, sollen grundlegende Fehler geologischer Bearbeitung vermieden werden. Darüber hinaus ist die Verknüpfung der räumlichen geologischen Gegebenheiten mit deren zeitlich bedingten Veränderungen zu einem zusammenhängenden geologischen System anzustreben, um eine weitere, wesentliche Fehlerquelle auszuschalten, die im Falle des Ruinenmergels zu einem Teil der angeführten Fehlschlüsse geführt hat.

Die Vergleiche der angeführten Auffassungen über die Probleme des Ruinenmergels mit den dargestellten neueren Untersuchungsergebnissen zeigen, daß weitere Verbesserungen der heute noch allgemein üblichen geologischen Arbeitsmethoden notwendig sind und die entsprechenden Revisionen geologischer Meinungen nachgeholt werden müßten. Die Verbesserung der geologischen Arbeitsmethoden ist vor allem durch den Ausbau von theoretischen Grundlagen der geologischen Forschung (analytische Geologie als Teilgebiet der theoretischen Geologie) zu erwarten. Hierbei soll künftig die Anwendung von mathematischen Hilfsmitteln ausgeschöpft werden, um sowohl die geologischen Analysen gegen Fehler zu sichern als auch die synoptische Verarbeitung der geologischen Daten vor Irrtümern zu schützen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Aus dieser Untersuchung folgt aber auch, daß der gegenwärtige Stand der geologischen Forschung besonders für die Anwendung der daraus gewonnenen Ergebnisse auf das Gebiet der angewandten Geologie noch wesentlicher Verbesserungen bedarf, um jene Präzision der Aussagen zu gewährleisten, die für ihre praktische Anwendung nötig ist.

7. Literatur

BERNAUER, F., Die Kolloidchemie. Berlin 1924.

BOROWICKA, H., Bodenmechanik — Felsmechanik. Österreichische Ingenieurzeitschrift *5*, Wien 1962.

CORNELIUS, H. P., Erläuterungen zur geologischen Karte des Raxgebietes. Wien 1936.

ENGELHARDT, W., Der Porenraum der Sedimente. Berlin 1960.

FINK, J., Bemerkungen zur Bodenkarte Niederösterreichs. Mitt. Österr. bodenkundl. Ges., Wien 1960.

FÖPPL, L., Die Sprengwirkung des Wassers beim Druckversuch mit wasserhaltigen Feststoffen. Geologie und Bauwesen *24*, Wien 1958.

FRANZ, H., Feldbodenkunde. Wien und München 1960.

FRANZ, H. und F. SOLAR, Das Raxplateau und seine Böden. Mitt. d. Österr. bodenkundl. Ges., Wien 1961.

GANSSEN, R., Bodengeographie. Stuttgart 1957.

HÄUSLER, H., Eine Breccie auf dem Wettersteinkalk des Schneeberges. Verh. Geol. Bundesanstalt 1936. Wien 1936.

HOCHSTETTER, F. und A. BISCHING, Leitfaden der Mineralogie und Geologie. Wien 1915, S. 188, Fig. 234.

JANIK, V. und H. SCHILLER, Charakterisierung typischer Bodenprofile der Gjaidalm. Mitt. Österr. bodenkundl. Ges., Wien 1960.

JOHN, C. und EICHLEITER, C. F., Arbeiten aus dem chemischen Laboratorium der k. k. geologischen Reichsanstalt ausgeführt in den Jahren 1907—1909. Jahrbuch d. geol. Reichsanstalt *60*, Wien 1910.

KIESLINGER, A., Die Färbemethoden in der Gesteinsuntersuchung. Geologie und Bauwesen *1*, Wien 1929.

— Gesteinskunde für Hochbau und Plastik. Wien 1951.

— Zur Geschichte des Wiener Sandsteins. Wien 1938.

— Die nutzbaren Gesteine von Salzburg. Salzburg—Stuttgart 1963.

KUBIENA, W. L., Entwicklungslehre des Bodens. Wien 1948.

LAATSCH, W., Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. Dresden und Leipzig 1954.

LANGE, Jörn, Einführung in die Physikalische Chemie. Wien 1942.

LEITMEIER, H., Einführung in die Gesteinskunde. Wien 1950.

LIESEGANG, R. E., Geologische Diffusionen. Dresden und Leipzig 1913.

MÄGDEFRAU, K., Paläobiologie der Pflanzen. Jena 1942.

MARC, R. und H. JUNG, Physikalische Chemie. Jena 1911.

MORAWIETZ, F., Ruinen-Marmor. Neues Jb. d. Geol. u. Pal. Monatshefte 2/1958. Stuttgart 1958.

OSTWALD, W., Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. Dresden und Leipzig 1927.
PAPP, A. und E. THENIUS, Vösendorf — ein Lebensbild aus dem Pannon des Wiener Beckens. Mitt. Geol. Ges. in Wien *46*, Wien 1953.
REIFENBERG, A., Die Entstehung der Mediterran-Roterde (Terra rossa). Dresden und Leipzig 1929.
ROBINSON, G. W., Die Böden. Berlin 1939.
SANDER, B., Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. Bd. II, Wien 1950.
SAUER, E., Kolloidchemisches Praktikum. Berlin 1935.
SCHAFFER, F. X., Lehrbuch der Geologie. I. Teil: Allgem. Geologie. Wien 1922.
STINY, J., Technische Gesteinskunde. Wien 1929.
— Mineralogie. Wien 1952.
TOULA, F., Lehrbuch der Geologie. 1. Aufl., Wien 1900.
— Lehrbuch der Geologie. 2. Aufl., Wien 1906.
— Lehrbuch der Geologie. 3. Aufl., Wien 1918.
ZSIGMONDY, R., Kolloidchemie. Leipzig 1925.